

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2006 年 6 月 8 日 (08.06.2006)

PCT

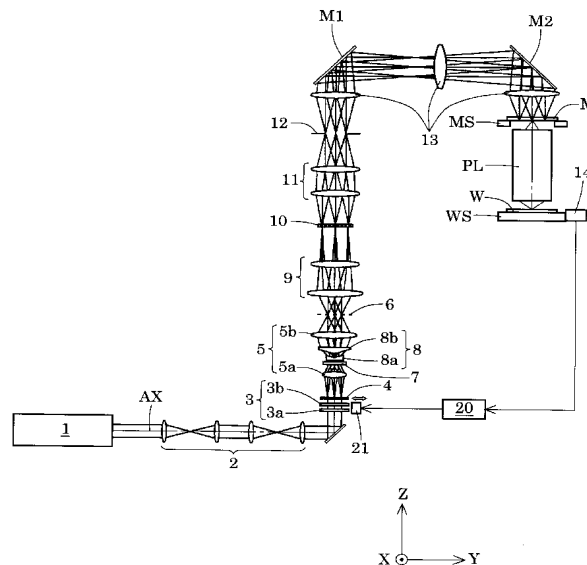
(10) 国際公開番号
WO 2006/059549 A1

- (51) 国際特許分類:
H01L 21/027 (2006.01) *G03F 7/20* (2006.01)
G02B 19/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/021693
- (22) 国際出願日: 2005 年 11 月 25 日 (25.11.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-350716 2004 年 12 月 3 日 (03.12.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 重松 幸二
(SHIGEMATSU, Koji) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代
田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo
(JP).
- (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒1010048
東京都千代田区神田司町二丁目 10 番地 第一ビル
Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW,
MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,
RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,
SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

[続葉有]

(54) Title: ILLUMINATION OPTICAL DEVICE, MANUFACTURING METHOD THEREOF, EXPOSURE DEVICE, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 照明光学装置、その製造方法、露光装置、および露光方法



(57) Abstract: There is provided an illumination optical device capable of illuminating a surface to be irradiated, with light of a desired polarization state while preferably suppressing a change of the polarization state of the light in the illumination optical path. The illumination optical device illuminates the surface to be irradiated (M, W) according to the light supplied from a light source (1). The illumination optical device includes polarization setting units (3, 7) arranged in the optical path between the light source and the surface to be irradiated, for setting the polarization state of the light reaching the surface to be irradiated, to a predetermined polarization state. Each of light transmitting members arranged in the optical path between the deflection setting unit and the surface to be irradiated is formed by an optical material having double refraction amount generated by internal distortion suppressed to 5 nm/cm or below.

[続葉有]

WO 2006/059549 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光で被照射面を照明することのできる照明光学装置。光源(1)から供給される光に基づいて被照射面(M, W)を照明する照明光学装置。光源と被照射面との間の光路中に配置されて被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部(3, 7)を備えている。偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置された複数の光透過部材の各々は、内部歪みに起因して発生する複屈折量が5 nm/cm以下に抑えられた光学材料により形成されている。

明 細 書

照明光学装置、その製造方法、露光装置、および露光方法 技術分野

[0001] 本発明は、照明光学装置、その製造方法、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に関するものである。

背景技術

[0002] この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オブティカルインテグレータとしてのフライアイレンズを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源（一般には、照明光学装置の照明瞳またはその近傍に形成される照明瞳分布）からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

[0003] コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

[0004] たとえば本出願人の出願にかかる特許第3246615号公報には、任意方向の微細パターンを忠実に転写するのに適した照明条件を実現するために、フライアイレンズの後側焦点面に輪帯状の二次光源を形成し、この輪帯状の二次光源を通過する光束がその周方向を偏光方向とする直線偏光状態（以下、略して「周方向偏光状態」という）になるように設定する技術が開示されている。

[0005] 特許文献1：特許第3246615号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] 上述の周方向偏光状態に限定されることなく、特定の直線偏光状態の光を用いて特定のパターンの投影露光を行うことは、投影光学系の解像度向上に有効である。さらに一般的には、マスクパターンに応じて特定の偏光状態(以下、非偏光状態を含む広い概念)の光を用いて投影露光を行うことは、投影光学系の解像度向上に有効である。
- [0007] しかしながら、所望の偏光状態の光でマスク(ひいてはウェハ)を照明しようとしても、照明光路中に光の偏光状態を変化させる光学素子が介在すると、所望の偏光状態で結像しなくなり、ひいては結像性能が悪化する可能性がある。特に、照明光路中に配置されたレンズや平行平板のような光透過部材では、内部歪みにより発生する複屈折性に起因して通過する光の偏光状態が変化する。
- [0008] 本発明は、照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光で被照射面を照明することのできる照明光学装置を提供することを目的とする。また、所望の偏光状態の光で被照射面を照明する照明光学装置を用いて、微細パターンを感光性基板上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0009] 前記目的を達成するために、本発明の第1形態では、光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部を備え、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置された複数の光透過部材の各々は、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた光学材料により形成されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。
- [0010] 本発明の第2形態では、光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部を備え、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置された複数の光透過部材

は、各光透過部材において内部歪みに起因して発生する複屈折の影響を相殺により低減するために、光軸を中心とした所要の回転角度位置にそれぞれ位置決めされていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0011] 本発明の第3形態では、光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部と、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて光路を折り曲げるための折り曲げミラーとを備え、

前記折り曲げミラーの反射膜は、該反射膜に対してP偏光で入射する光と前記反射膜に対してS偏光で入射する光と間に反射により発生する位相差が、前記反射膜に入射するすべての光線について15度以内になるように形成されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0012] 本発明の第4形態では、光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部と、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて複屈折量が管理された光学系とを有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0013] 本発明の第5形態では、光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、

前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部と、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記被照射面での光の偏光状態が前記所定の偏光状態となるように、前記被照射面に達する光の偏光状態を維持する光学系とを有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

[0014] 本発明の第6形態では、複数の光透過部材を有する照明光学装置の製造方法において、

前記複数の光透過部材の各々を形成するためのバルク材を準備するバルク材準備工程と、

前記準備された各バルク材の複屈折量を測定する測定工程と、

前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材に関する前記測定工程からの各バルク材の測定情報を収集して、複屈折の影響を許容することのできる前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材の適切な組み合わせを選定し、該複数の光透過部材の適切な組み合わせによる各光透過部材の設定位置を求める算出工程と、

前記複数のバルク材を加工して各光透過部材を形成する加工工程と、

前記算出工程の結果に基づき、前記加工工程にて加工された複数の光透過部材をそれぞれ所定の設定位置に組み込む組込工程とを含むことを特徴とする照明光学装置の製造方法を提供する。

[0015] 本発明の第7形態では、第1形態～第5形態の照明光学装置または第6形態の製造方法によって製造された照明光学装置を備え、前記照明光学装置により照明されたマスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置を提供する。

[0016] 本発明の第8形態では、第1形態～第5形態の照明光学装置または第6形態の製造方法によって製造された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光方法を提供する。

[0017] 本発明の第9形態では、第1形態～第5形態の照明光学装置または第6形態の製造方法によって製造された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

[0018] 本発明の第10形態では、被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部を有する照明光学装置の調整方法において、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されるべき光学系の少なくとも一部に関する情報を得る工程と、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置される光学系の複屈折量

を管理する管理工程とを含むことを特徴とする照明光学装置の調整方法を提供する。
。

[0019] 本発明の第11形態では、被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部を有する照明光学装置の調整方法において、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されるべき光学系の少なくとも一部に関する情報を得る工程と、

前記光学系を介して前記被照射面に至る光の偏光状態が前記所定の偏光状態となるように、前記偏光設定部から前記被照射面までの間の光路における偏光特性を維持する維持工程とを含むことを特徴とする照明光学装置の調整方法を提供する。

[0020] 本発明の第12形態では、第10形態または第11形態の調整方法によって調整された照明光学装置を備え、前記照明光学装置により照明されたマスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とすることを特徴とする露光装置を提供する。

[0021] 本発明の第13形態では、第10形態または第11形態の調整方法によって調整された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光方法を提供する。

[0022] 本発明の第14形態では、第10形態または第11形態の調整方法によって調整された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

発明の効果

[0023] 本発明の典型的な形態にしたがう照明光学装置では、被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部が、光源と被照射面との間の光路中に配置されている。そして、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置された各光透過部材(レンズ、平行平板など)が、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた光学材料により形成されている。その結果、これらの光透過部材では、内部歪みによる複屈折性が抑えられ、ひいては複屈折性に起因して通過する光の偏光状態に悪影響が及ぶことがない。

[0024] こうして、本発明の照明光学装置では、照明光路中における光の偏光状態の変化

を良好に抑えて、所望の偏光状態の光で被照射面を照明することができる。したがって、本発明の露光装置および露光方法では、所望の偏光状態の光で被照射面を照明する照明光学装置を用いて、微細パターンを感光性基板上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができ、ひいては良好なマイクロデバイスを製造することができる。

図面の簡単な説明

- [0025] [図1]本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。
- [図2]図1の偏光変換素子の構成を概略的に示す図である。
- [図3]水晶の旋光性について説明する図である。
- [図4]偏光変換素子の作用により周方向偏光状態に設定された輪帯状の二次光源を概略的に示す図である。
- [図5]図1の偏光測定部の内部構成を概略的に示す図である。
- [図6]光軸に関して回転対称な二次分布にしたがう複屈折の影響について検証する第1の検証例を説明する図である。
- [図7]一方向に線形的に変化する傾斜一次分布にしたがう複屈折の影響について検証する第2の検証例を説明する図である。
- [図8]従来技術において光透過部材に外部から作用する力および光透過部材に発生する応力分布を模式的に示す図である。
- [図9]本実施形態において光透過部材に外部から作用する力および光透過部材に発生する応力分布を模式的に示す図である。
- [図10]本実施形態において光透過部材を両側から三点支持する保持部材の構成を概略的に示す図である。
- [図11]光透過部材の有効領域外の全周囲部に光軸と直交する面62aを有する切欠き部(加工部)を形成した様子を示す断面図である。
- [図12]光透過部材の有効領域外の全周囲部に光軸と直交する面62aを有する切欠き部(加工部)を形成した様子を示す斜示図である。
- [図13]本実施形態にかかる照明光学装置の製造方法の各工程を示すフローチャートである。

[図14]本実施形態の製造方法における評価工程を説明するための第1の図である。

[図15]本実施形態の製造方法における評価工程を説明するための第2の図である。

[図16]本実施形態にかかる照明光学装置の別の製造方法(調整方法)の各工程を示すフローチャートである。

[図17]マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

[図18]マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

[0026] 本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハWの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハWの面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。

[0027] 図1を参照すると、本実施形態の露光装置は、露光光(照明光)を供給するための光源1を備えている。光源1として、たとえば193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザ光源や248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源などを用いることができる。光源1から射出されたほぼ平行な光束は、リレーレンズ系2、偏光状態切換部3(3a, 3b)、および輪帯照明用の回折光学素子4を介して、アフォーカルレンズ5に入射する。なお、偏光状態切換部3の構成および作用については後述する。

[0028] リレーレンズ系2は、光源1からのほぼ平行な光束を所定の矩形状の断面を有するほぼ平行な光束に変換して偏光状態切換部3へ導く機能を有する。アフォーカルレンズ5は、その前側焦点位置と回折光学素子4の位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面6の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系(無焦点光学系)である。

[0029] 一方、回折光学素子4は、基板に露光光(照明光)の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有

する。具体的には、輪帯照明用の回折光学素子4は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフールド(またはフラウンホーファー回折領域)に輪帯状の光強度分布を形成する機能を有する。

[0030] したがって、光束変換素子としての回折光学素子4に入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ5の瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、輪帯状の角度分布でアフォーカルレンズ5から射出される。なお、アフォーカルレンズ5の前側レンズ群5aと後側レンズ群5bとの間の光路中においてその瞳位置またはその近傍には、偏光変換素子7および円錐アキシコン系8が配置されている。偏光変換素子7および円錐アキシコン系8の構成および作用については後述する。

[0031] アフォーカルレンズ5を介した光束は、 σ 値可変用のズームレンズ9を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ(またはフライアイレンズ)10に入射する。マイクロフライアイレンズ10は、縦横に且つ稠密に配列された多数の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

[0032] ここで、マイクロフライアイレンズを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイレンズは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズ(微小屈折面)が互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイレンズはフライアイレンズと同じ波面分割型のオプティカルインテグレータである。

[0033] 所定面6の位置はズームレンズ9の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロフライアイレンズ10の入射面はズームレンズ9の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ9は、所定面6とマイクロフライアイレンズ10の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ5の瞳面とマイクロフライアイレンズ10の入射面とを光学的にほぼ共役に配置している。

[0034] したがって、マイクロフライアイレンズ10の入射面上には、アフォーカルレンズ5の瞳面と同様に、たとえば光軸AXを中心とした輪帯状の照野が形成される。この輪帯状

の照野の全体形状は、後述するようにズームレンズ9の焦点距離に依存して相似的に変化する。マイクロフライアイレンズ10を構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状(ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状)と相似な矩形状の断面を有する。

[0035] マイクロフライアイレンズ10に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面またはその近傍(ひいては照明瞳面)には、入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の実質的な面光源からなる二次光源が形成される。マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍に形成された二次光源からの光束は、コンデンサー光学系11を介した後、マスクブラインド12を重疊的に照明する。

[0036] こうして、照明視野絞りとしてのマスクブラインド12には、マイクロフライアイレンズ10を構成する各微小レンズの形状と焦点距離とに応じた矩形状の照野が形成される。マスクブラインド12の矩形状の開孔部(光透過部)を介した光束は、結像光学系13の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重疊的に照明する。すなわち、結像光学系13は、マスクブラインド12の矩形状開孔部の像をマスクM上に形成することになる。なお、結像光学系13の光路中には、一対の折り曲げミラーM1およびM2が配置されている。

[0037] マスクステージMS上に保持されたマスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、ウェハステージWS上に保持されたウェハ(感光性基板)W上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面(XY平面)内においてウェハステージWSを二次元的に駆動制御しながら、ひいてはウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが順次露光される。

[0038] 偏光状態切換部3は、光源側から順に、1/4波長板3aと、1/2波長板3bとを備えている。1/4波長板3aは、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する楕円偏光の光を直線偏光の光に変換する。また、1/2波長板3bは、光軸AXを中心として結晶光学軸が回転自在に構成されて、入射する直線偏光の偏光面(偏光方向)を変化させる。なお、1/4波長板3aおよび1/2波長板3bの回転

は、制御部20からの指令に基づいて動作する駆動部21により行われる。

- [0039] 光源1としてKrFエキシマレーザ光源やArFエキシマレーザ光源を用いる場合、これらの光源から射出される光は典型的には95%以上の偏光度を有し、1/4波長板3aにはほぼ直線偏光の光が入射する。しかしながら、光源1と偏光状態切換部3との間の光路中に裏面反射鏡としての直角プリズムが介在する場合、入射する直線偏光の偏光面が反射面に対するP偏光面またはS偏光面に一致していないと、直角プリズムでの全反射により直線偏光が楕円偏光に変わる。
- [0040] 偏光状態切換部3では、たとえば直角プリズムでの全反射に起因して楕円偏光の光が入射しても、1/4波長板3aの作用により変換された直線偏光の光が1/2波長板3bに入射する。以下、説明を簡単にするために、図1においてY方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「Y方向偏光」と称する)の光が1/2波長板3bに入射するものとする。
- [0041] この場合、1/2波長板3bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して0度または90度の角度をなすように設定すると、1/2波長板3bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が変化することなくZ方向偏光のまま通過し、Z方向偏光状態で回折光学素子4に入射する。一方、1/2波長板3bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して45度の角度をなすように設定すると、1/2波長板3bに入射したZ方向偏光の光は偏光面が90度だけ変化し、図1においてX方向に偏光方向(電場の方向)を有する直線偏光(以下、「X方向偏光」と称する)の光になり、X方向偏光状態で回折光学素子4に入射する。
- [0042] 一般的には、1/2波長板3bの結晶光学軸を入射するZ方向偏光の偏光面に対して所要の角度をなすように設定することにより、回折光学素子4への入射光の偏光状態を、任意方向に偏光方向を有する直線偏光状態に設定することができる。さらに、偏光状態切換部3では、1/2波長板3bを照明光路から退避させ、且つ1/4波長板3aの結晶光学軸を入射する楕円偏光に対して所要の角度をなすように設定することにより、円偏光状態または所望の楕円偏光状態の光を回折光学素子4に入射させることもできる。すなわち、後述の偏光変換素子7を光路から退避させた状態では、偏光状態切換部3の作用により、マスクMおよびウェハWを照明する光の偏光状態を、

任意方向に偏光方向を有する直線偏光状態、円偏光状態または所望の楕円偏光状態に設定することができる。

[0043] 次に、円錐アキシコン系8は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を向けた第1プリズム部材8aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第2プリズム部材8bとから構成されている。そして、第1プリズム部材8aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。また、第1プリズム部材8aおよび第2プリズム部材8bのうち少なくとも一方の部材が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材8aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。

[0044] ここで、第1プリズム部材8aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン系8は平行平板として機能し、形成される輪帯状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム部材8aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材8bの凸円錐状屈折面とを離間させると、輪帯状の二次光源の幅（輪帯状の二次光源の外径と内径との差の $1/2$ ）を一定に保ちつつ、輪帯状の二次光源の外径（内径）が変化する。すなわち、輪帯状の二次光源の輪帯比（内径／外径）および大きさ（外径）が変化する。

[0045] ズームレンズ9は、輪帯状の二次光源の全体形状を相似的に拡大または縮小する機能を有する。たとえば、ズームレンズ9の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、輪帯状の二次光源の全体形状が相似的に拡大される。換言すると、ズームレンズ9の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。このように、円錐アキシコン系8およびズームレンズ9の作用により、輪帯状の二次光源の輪帯比と大きさ（外径）とを制御することができる。

[0046] なお、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、4極照明用の回折光学素子（不図示）を照明光路中に設定することによって、4極照明を行うことができる。4極照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドに4極状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、4極照明用

の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ10の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ4極状の二次光源が形成される。

[0047] また、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、円形照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、通常の円形照明を行うことができる。円形照明用の回折光学素子は、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファースフィールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、円形照明用の回折光学素子を介した光束は、マイクロフライアイレンズ10の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍にも、その入射面に形成された照野と同じ円形状の二次光源が形成される。

[0048] さらに、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、他の複数極照明用の回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な複数極照明(2極照明、8極照明など)を行うことができる。同様に、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、適当な特性を有する回折光学素子(不図示)を照明光路中に設定することによって、様々な形態の変形照明を行うことができる。

[0049] 図2は、図1の偏光変換素子の構成を概略的に示す図である。また、図3は、水晶の旋光性について説明する図である。また、図4は、偏光変換素子の作用により周方向偏光状態に設定された輪帯状の二次光源を概略的に示す図である。本実施形態にかかる偏光変換素子7は、アフォーカルレンズ5の瞳位置またはその近傍に、すなわち照明光学装置(1~13)の瞳面またはその近傍に配置されている。したがって、輪帯照明の場合、偏光変換素子7には光軸AXを中心としたほぼ輪帯状の断面を有する光束が入射することになる。

[0050] 図2を参照すると、偏光変換素子7は、全体として光軸AXを中心とした輪帯状の有効領域を有し、この輪帯状の有効領域は光軸AXを中心とした円周方向に等分割された8つの扇形形状の基本素子により構成されている。これらの8つの基本素子において、光軸AXを挟んで対向する一対の基本素子は互いに同じ特性を有する。すな

わち、8つの基本素子は、光の透過方向(Y方向)に沿った厚さ(光軸方向の長さ)が互いに異なる4種類の基本素子7A～7Dを2個ずつ含んでいる。

[0051] 具体的には、第1基本素子7Aの厚さが最も大きく、第4基本素子7Dの厚さが最も小さく、第2基本素子7Bの厚さは第3基本素子7Cの厚さよりも大きく設定されている。その結果、偏光変換素子7の一方の面(たとえば入射面)は平面状であるが、他方の面(たとえば射出面)は各基本素子7A～7Dの厚さの違いにより凹凸状になっている。なお、偏光変換素子7の双方の面(入射面および射出面)をとともに凹凸状に形成することもできる。

[0052] また、本実施形態では、各基本素子7A～7Dが旋光性を有する光学材料である水晶により構成され、各基本素子7A～7Dの結晶光学軸が光軸AXとほぼ一致するように設定されている。以下、図3を参照して、水晶の旋光性について簡単に説明する。図3を参照すると、厚さdの水晶からなる平行平板状の光学部材100が、その結晶光学軸と光軸AXとが一致するように配置されている。この場合、光学部材100の旋光性により、入射した直線偏光の偏光方向が光軸AX廻りに θ だけ回転した状態で射出される。

[0053] このとき、光学部材100の旋光性による偏光方向の回転角(旋光角度) θ は、光学部材100の厚さdと水晶の旋光能 ρ とにより、次の式(1)で表わされる。

$$\theta = d \cdot \rho \quad (1)$$

[0054] 一般に、水晶の旋光能 ρ は、波長依存性(使用光の波長に依存して旋光能の値が異なる性質:旋光分散)があり、具体的には使用光の波長が短くなると大きくなる傾向がある。「応用光学II」の第167頁の記述によれば、250.3nmの波長を有する光に対する水晶の旋光能 ρ は、153.9度/mmである。

[0055] 本実施形態において、第1基本素子7Aは、Y方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Y方向をZ軸廻りに+180度回転させた方向すなわちY方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdAが設定されている。したがって、この場合、図4に示す輪帯状の二次光源31のうち、一对の第1基本素子7Aの旋光作用を受けた光束が形成する一对の円弧状領域31Aを通過する光束の偏光方向はY方向になる。

- [0056] 第2基本素子7Bは、Y方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Y方向をZ軸廻りに+135度回転させた方向すなわちY方向をZ軸廻りに-45度回転させた方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdBが設定されている。したがって、この場合、図4に示す輪帯状の二次光源31のうち、一对の第2基本素子7Bの旋光作用を受けた光束が形成する一对の円弧状領域31Bを通過する光束の偏光方向はY方向をZ軸廻りに-45度回転させた方向になる。
- [0057] 第3基本素子7Cは、Y方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Y方向をZ軸廻りに+90度回転させた方向すなわちX方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdCが設定されている。したがって、この場合、図4に示す輪帯状の二次光源31のうち、一对の第3基本素子7Cの旋光作用を受けた光束が形成する一对の円弧状領域31Cを通過する光束の偏光方向はX方向になる。
- [0058] 第4基本素子7Dは、Y方向に偏光方向を有する直線偏光の光が入射した場合、Y方向をZ軸廻りに+45度回転させた方向に偏光方向を有する直線偏光の光を射出するように厚さdDが設定されている。したがって、この場合、図4に示す輪帯状の二次光源31のうち、一对の第4基本素子7Dの旋光作用を受けた光束が形成する一对の円弧状領域31Dを通過する光束の偏光方向はY方向をZ軸廻りに+45度回転させた方向になる。
- [0059] なお、別々に形成された8つの基本素子を組み合わせて偏光変換素子7を得ることもできるし、あるいは平行平板状の水晶基板に所要の凹凸形状(段差)を形成することにより偏光変換素子7を得ることもできる。また、偏光変換素子7を光路から退避させることなく通常の円形照明を行うことができるように、偏光変換素子7の有効領域の径方向の大きさの1/3以上の大きさを有し且つ旋光性を有しない円形状の中央領域7Eが設けられている。ここで、中央領域7Eは、たとえば石英のように旋光性を有しない光学材料により形成されていてもよいし、単純に円形状の開口であってもよい。ただし、中央領域7Eは偏光変換素子7に必須の要素ではない。
- [0060] 図5は、図1の偏光測定部の内部構成を概略的に示す図である。本実施形態では、図5に示すように、ウェハWを保持するためのウェハステージWSに、ウェハWに対する照明光(露光光)の偏光状態を測定するための偏光測定部(偏光状態測定部)1

4が設けられている。偏光測定部14は、ウェハWの露光面の高さ位置において二次元的に位置決め可能なピンホール部材40を備えている。なお、偏光測定部14の使用時には、ウェハWは光路から退避する。

[0061] ピンホール部材40のピンホール40aを通過した光は、コリメートレンズ41を介してほぼ平行な光束になり、反射鏡42で反射された後、リレーレンズ系43に入射する。リレーレンズ系43を介したほぼ平行な光束は、移相子としての $\lambda/4$ 板44および偏光子としての偏光ビームスプリッター45を介した後、二次元CCD46の検出面46aに達する。二次元CCD46の出力は、制御部20に供給される。ここで、 $\lambda/4$ 板44は、光軸を中心として回転可能に構成されており、この $\lambda/4$ 板44には、その光軸を中心とした回転角を設定するための設定部47が接続されている。

[0062] こうして、ウェハWに対する照明光の偏光度が0でない場合には、設定部47を介して $\lambda/4$ 板44を光軸廻りに回転させることにより二次元CCD46の検出面46aにおける光強度分布が変化する。したがって、偏光測定部14では、設定部47を用いて $\lambda/4$ 板44を光軸廻りに回転させながら検出面46aにおける光強度分布の変化を検出し、この検出結果から回転移相子法により照明光の偏光状態(偏光度; 光に関するストークスパラメータ S_1, S_2, S_3)を測定することができる。

[0063] なお、回転移相子法については、例えば鶴田著、「光の鉛筆－光技術者のための応用光学」、株式会社新技術コミュニケーションズなどに詳しく記載されている。実際には、ピンホール部材40(ひいてはピンホール40a)をウェハ面に沿って二次元的に移動させつつ、ウェハ面内の複数の位置における照明光の偏光状態を測定する。このとき、偏光測定部14では、二次元的な検出面46aにおける光強度分布の変化を検出するので、この検出分布情報に基づいて照明光の瞳内における偏光状態の分布を測定することができる。

[0064] ところで、偏光測定部14では、移相子として $\lambda/4$ 板44に代えて $\lambda/2$ 板を用いることも可能である。どのような移相子を用いたとしても、偏光状態、すなわち4つのストークスパラメータを測定するためには、移相子と偏光子(偏光ビームスプリッター45)との光軸廻りの相対角度を変えたり、移相子または偏光子を光路から退避させたりして、少なくとも4つの異なる状態で検出面46aにおける光強度分布の変化を検出する

必要がある。

- [0065] なお、本実施形態では移相子としての $\lambda/4$ 板44を光軸廻りに回転させたが、偏光子としての偏光ビームスプリッター45を光軸廻りに回転させても良く、移相子および偏光子の双方を光軸廻りに回転させても良い。また、この動作に代えて、あるいはこの動作に加えて、移相子としての $\lambda/4$ 板44および偏光子としての偏光ビームスプリッター45のうちの一方または双方を光路から挿脱させても良い。
- [0066] また、偏光測定部14では、反射鏡42の偏光特性により光の偏光状態が変化してしまう場合がある。この場合、反射鏡42の偏光特性は予めわかっているため、所要の計算によって反射鏡42の偏光特性の偏光状態への影響に基づいて偏光測定部14の測定結果を補正し、照明光の偏光状態を正確に測定することができる。また、反射鏡に限らず、レンズなどの他の光学部品に起因して偏光状態が変化してしまう場合でも同様に測定結果を補正し、照明光の偏光状態を正確に測定することができる。
- [0067] こうして、偏光測定部14を用いてウェハWに対する照明光の瞳内における偏光状態(偏光度)を測定し、照明光が瞳内において適切な偏光状態(たとえば上述した周方向偏光状態など)になっているか否かが判定される。そして、制御部20は、偏光測定部14の測定結果に基づいて、必要に応じて偏光状態切換部3(1/4波長板3aおよび1/2波長板3b)を駆動し、マスクM(ひいてはウェハW)への照明光の偏光状態を所望の偏光状態に調整する。
- [0068] 本実施形態では、周方向偏光輪帯照明(輪帯状の二次光源を通過する光束が周方向偏光状態に設定された変形照明)に際して、偏光状態切換部3中の1/2波長板3bの結晶光学軸の光軸廻りの角度位置を調整して輪帯照明用の回折光学素子4にY方向偏光を入射させることによって、Y方向に偏光方向を有する直線偏光の光を偏光変換素子7に入射させる。その結果、マイクロフライアイレンズ10の後側焦点面またはその近傍には、図4に示すように、輪帯状の二次光源(輪帯状の照明瞳分布)31が形成され、この輪帯状の二次光源31を通過する光束が周方向偏光状態に設定される。
- [0069] 周方向偏光状態では、輪帯状の二次光源31を構成する円弧状領域31A~31Dをそれぞれ通過する光束は、各円弧状領域31A~31Dの円周方向に沿った中心位

置における光軸AXを中心とする円の接線方向とほぼ一致する偏光方向を有する直線偏光状態になる。こうして、本実施形態では、偏光変換素子7の旋光作用により、光量損失を実質的に発生させることなく、周方向偏光状態の輪帯状の二次光源31が形成される。なお、周方向偏光状態の輪帯状の照明瞳分布に基づく周方向偏光輪帯照明では、最終的な被照射面としてのウェハWに照射される光がS偏光を主成分とする偏光状態になる。

[0070] ここで、S偏光とは、入射面に対して垂直な方向に偏光方向を有する直線偏光(入射面に垂直な方向に電気ベクトルが振動している偏光)のことである。ただし、入射面とは、光が媒質の境界面(被照射面:ウェハWの表面)に達したときに、その点での境界面の法線と光の入射方向とを含む面として定義される。その結果、周方向偏光輪帯照明では、投影光学系の光学性能(焦点深度など)が向上し、ウェハ(感光性基板)上において高コントラストの良好なマスクパターン像が得られる。

[0071] 一般に、輪帯照明に限定されることなく、たとえば周方向偏光状態の複数極状の照明瞳分布に基づく照明においても、ウェハWに入射する光がS偏光を主成分とする偏光状態になり、ウェハW上において高コントラストの良好なマスクパターン像が得られる。このときには、輪帯照明用の回折光学素子4に代えて、複数極照明(2極照明、4極照明、8極照明など)用の回折光学素子を照明光路に設定し、偏光状態切換部3中の1/2波長板3bの結晶光学軸の光軸廻りの角度位置を調整して複数極照明用の回折光学素子にY方向偏光を入射させることによって、Y方向に偏光方向を有する直線偏光の光を偏光変換素子7に入射させる。

[0072] 以上のように、光源1から供給される光に基づいて被照射面としてのマスクMを照明する本実施形態の照明光学装置(1~13)は、光源1とマスクMとの間の光路中に配置されてマスクMに達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部として、偏光状態切換部3(3a, 3b)および偏光変換素子7を備えている。しかしながら、たとえば偏光状態切換部3および偏光変換素子7の作用により所望の偏光状態の光でマスクM(ひいてはウェハW)を照明しようとしても、照明光路中に光の偏光状態を変化させる光学素子が介在すると、所望の偏光状態で結像なくなり、ひいては結像性能が悪化する可能性がある。特に、照明光路中に配置された光透過

部材(レンズや平行平板など)では、内部歪みにより発生する複屈折性に起因して通過する光の偏光状態が変化する。

- [0073] 以下、典型的な設計例に基づいて、たとえば内部歪みにより発生する複屈折の影響について検証する。まず、第1の検証例では、偏光状態切換部3とマスクMとの間の光路中に配置されたすべての光透過部材(レンズ、平行平板など)のうちの1つの任意の光透過部材が、光軸AXに関して回転対称な二次分布にしたがう複屈折を有する場合を想定している。さらに詳細には、複屈折分布として、図6(a)に示すように、有効領域の中心(光軸AX)において複屈折量が $0\text{nm}/\text{cm}$ であり、有効領域の周辺において複屈折量が $10\text{nm}/\text{cm}$ であり、有効領域の中心から周辺に向かって二次関数にしたがって単調に増加する分布を想定している。ここで、複屈折量とは、光透過部材内を 1cm だけ透過したときにP偏光とS偏光との間に発生する位相差である。また、ここでは、進相軸と遅相軸が光透過部材の中心に対し放射方向か同心円の接線方向であり、且つ複屈折量が中心から周辺に向かって2次関数的に単調増加する分布を想定している。
- [0074] この場合、上述の回転対称な二次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在しても、ウェハW上の露光領域ERの中心CR(すなわち光軸AX:図6(c)を参照)に達する光は複屈折の影響を全く受けない。しかしながら、露光領域ERの中心CR以外の位置、一例として露光領域ERの中心CRからX方向に最も離れた周辺位置P1に達する光は、上述の回転対称な二次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかによって依存して複屈折の影響の度合いが異なる。
- [0075] 具体的に、露光領域ERの周辺位置P1に達する光のうち、偏光変換素子7の配置位置またはその近傍の瞳位置においてX方向に偏光方向を有する光(図6(b)において円AおよびBで示す)、すなわち瞳位置においてストークスパラメータ S_1 が1である光に着目すると、露光領域ERの周辺位置P1に達するときのストークスパラメータ S_1 の値は、上述の回転対称な二次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかによって依存して約 $0.91 \sim 1.0$ の間でばらつくことがわかった。
- [0076] 一方、露光領域ERの周辺位置P1に達する光のうち、偏光変換素子7の配置位置またはその近傍の瞳位置においてX方向をZ軸廻りに -45 度回転した方向に偏光

方向を有する光(図6(b)において円CおよびDで示す)、すなわち瞳位置においてストークスパラメータ S_2 が1である光に着目すると、露光領域ERの周辺位置P1に達するときのストークスパラメータ S_2 の値は、上述の回転対称な二次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかに依存して約0.92~1.0の間でばらつくことがわかった。

[0077] 次に、第2の検証例では、偏光状態切換部3とマスクMとの間の光路中に配置されたすべての光透過部材のうちの1つの任意の光透過部材が、一方向に沿って線形的に変化する傾斜分布にしたがう複屈折を有する場合を想定している。さらに詳細には、複屈折分布として、図7(a)に示すように、有効領域の一方の周辺において複屈折量が0nm/cmであり、有効領域の他方の周辺において複屈折量が10nm/cmであり、X方向に沿って一方の周辺から他方の周辺へ一次関数にしたがって単調に増加する分布を想定している。また、ここでは、進相軸と遅相軸が複屈折量の傾斜方向に平行か垂直方向であることを想定している。

[0078] この場合、偏光変換素子7の配置位置またはその近傍の瞳位置においてX方向に偏光方向を有する光(図7(b)において円A, Bで示す)およびY方向に偏光方向を有する光(図7(b)において円E, Fで示す)、すなわち瞳位置においてストークスパラメータ S_1 が1である光は、上述の傾斜した一次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在しても、ウェハW上の露光領域ERのX軸上の領域およびY軸上の領域に達する限り複屈折の影響を全く受けない。

[0079] しかしながら、たとえば偏光変換素子7の配置位置またはその近傍の瞳位置においてX方向をZ軸廻りに-45度回転した方向に偏光方向を有する光(図7(b)において円CおよびDで示す)、すなわち瞳位置においてストークスパラメータ S_2 が1である光が、ウェハW上の露光領域ERの中心CR(すなわち光軸AX:図7(c)を参照)や中心CRからX方向に最も離れた周辺位置P1に達する場合、上述の傾斜一次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかに依存して複屈折の影響の度合いが異なる。

[0080] 具体的に、瞳位置においてストークスパラメータ S_2 が1である光Cが露光領域ERの中心CRに達する場合、ストークスパラメータ S_2 の値は上述の傾斜一次分布にしたが

う複屈折がどの光透過部材に存在するかに依存して約0.77～1.0の間でばらつくことがわかった。また、瞳位置においてストークスパラメータ S_2 が1である光Dが露光領域ERの中心CRに達する場合、ストークスパラメータ S_2 の値は上述の傾斜した一次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかに依存して約0.65～1.0の間でばらつくことがわかった。

[0081] 一方、瞳位置においてストークスパラメータ S_2 が1である光Cが露光領域ERの周辺位置P1に達する場合、ストークスパラメータ S_2 の値は上述の傾斜一次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかに依存して約0.83～1.0の間でばらつくことがわかった。また、瞳位置においてストークスパラメータ S_2 が1である光Dが露光領域ERの周辺位置P1に達する場合、ストークスパラメータ S_2 の値は上述の傾斜一次分布にしたがう複屈折がどの光透過部材に存在するかに依存して約0.88～1.0の間でばらつくことがわかった。

[0082] 上述した2つの検証例の結果から、偏光状態切換部3とマスクMとの間の光路中の光透過部材に、たとえば内部歪みに起因して回転対称な二次分布にしたがう複屈折が発生すると、この回転対称な二次分布の複屈折がマスクM（ひいてはウェハW）に達する光の偏光状態に及ぼす影響はかなり大きいことがわかる。また、偏光状態切換部3とマスクMとの間の光路中の光透過部材に、たとえば内部歪みに起因して傾斜一次分布にしたがう複屈折が発生すると、この傾斜一次分布の複屈折がマスクM（ひいてはウェハW）に達する光の偏光状態に及ぼす影響は非常に大きいことがわかる。

[0083] そこで、本実施形態では、第1の手法として、偏光設定部(3, 7)中の偏光状態切換部3とマスクMとの間の光路中に配置された各光透過部材を、内部歪みに起因して発生する複屈折量が5nm/cm以下に抑えられた光学材料で形成する。この構成により、照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光でマスクMを照明することができ、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができる。

[0084] 同様に、露光装置において光源1から投影光学系PLまでを照明光学装置と考え、偏光設定部(3, 7)中の偏光状態切換部3とウェハWとの間の光路中に配置された各

光透過部材を、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた光学材料で形成する。この構成により、照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光でウェハWを照明することができ、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができる。

[0085] ところで、上述の説明では、内部歪みにより発生する複屈折の影響に着目しているが、光透過部材の保持に際して比較的大きな応力が外部から作用し、この外部応力に応じて発生する複屈折性に起因して光透過部材を通過する光の偏光状態が変化する。そこで、本実施形態では、第2の手法として、偏光設定部(3, 7)中の偏光状態切換部3とマスクM(またはウェハW)との間の光路中に配置された各光透過部材を、外部応力に起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように保持する。この構成により、照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光でマスクM(またはウェハW)を照明することができ、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができる。

[0086] 具体的に、従来技術では、照明光路中に配置される光透過部材は、鏡筒内において円筒形状の間隔環により両側から挟まれる形態で保持されるのが一般的である。この場合、原理的には、光透過部材は光軸を中心とする円環状の領域に沿って連続支持される。しかしながら、実際には、間隔環の端面(光透過部材と当接する面)の製造誤差などの影響により、光透過部材は円環状領域に沿って連続支持されることなく、円環状領域に沿った複数の点領域(特に意図していない領域)で支持されることになる。

[0087] すなわち、従来技術では、図8(a)に示すように、光透過部材50の一方の光学面側に外部から作用する主要な力F1の位置と、光透過部材50の他方の光学面側に外部から作用する主要な力F2の位置とが一致しない。その結果、図8(b)において等高線で示すように、外部からの力F1およびF2に応答して光透過部材50の有効領域50aのほぼ全体に亘って比較的大きな応力分布が生じ、この応力分布に応じて発生する複屈折性に起因して光透過部材50を通過する光の偏光状態が変化する。

- [0088] これに対し、本実施形態では、図9(a)に示すように、光透過部材50の一方の光学面側を3つの領域51a～51cで三点支持するとともに、光透過部材50の他方の光学面側を3つの領域51a～51cにほぼ対向する3つの領域52a～52cで三点支持する。この場合、光透過部材50の一方の光学面側に外部から作用する3つの力F3の位置と、光透過部材50の他方の光学面側に外部から作用する3つの力F4の位置とがほぼ一致する。
- [0089] したがって、図9(b)において等高線で示すように、外部からの力F3およびF4に応答して光透過部材50の支持領域51a～51c(52a～52c)に集中した応力分布が生じるだけで、有効領域50aには実質的な応力分布が生じない。その結果、本実施形態にしたがってほぼ対向する領域において三点支持された光透過部材では、応力分布による複屈折性がほとんど発生することなく、ひいては複屈折性に起因して通過する光の偏光状態がほとんど変化することがない。
- [0090] 図10は、本実施形態において光透過部材を両側から三点支持する保持部材の構成を概略的に示す図である。本実施形態の保持部材は、保持すべき光透過部材60の一方の光学面側(図10中上側)を3つの領域(図9の51a～51cに対応)で三点支持するための3つの支持部71a～71cを有する第1間隔環71と、光透過部材60の他方の光学面側(図10中下側)を3つの領域(図9の52a～52cに対応)で三点支持するための3つの支持部72a～72cを有する第2間隔環72とを備えている。
- [0091] ここで、第1間隔環71の3つの支持部71a～71cはほぼ等角度間隔に設けられ、第2間隔環72の3つの支持部72a～72cもほぼ等角度間隔に設けられている。さらに、第1間隔環71と第2間隔環72とは、支持部71aと支持部72aとがほぼ対向するように、ひいては支持部71bおよび71cと支持部72bおよび72cとがそれぞれほぼ対向するように位置決めされている。こうして、保持部材(71, 72)により、ほぼ対向する3つの領域において光透過部材60が両側から三点支持される。
- [0092] 以上のように、本実施形態の照明光学装置(1～13)では、光路中に配置された光透過部材のうちの所要の光透過部材(一般的には少なくとも1つの光透過部材)を、ほぼ対向する3つの領域で両側から三点支持している。この場合、光透過部材の支持領域に集中した応力分布が生じるだけで、光透過部材の有効領域には実質的な

応力分布が生じない。その結果、応力分布による複屈折性がほとんど発生することなく、ひいては複屈折性に起因して通過する光の偏光状態がほとんど変化することがない。

[0093] こうして、本実施形態の照明光学装置(1～13)では、光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態または非偏光状態の光で被照射面としてのマスクM(ひいてはウェハW)を照明することができる。したがって、本実施形態の露光装置では、所望の偏光状態または非偏光状態の光で被照射面としてのマスクMを照明する照明光学装置(1～13)を用いて、マスクパターンに応じた所望の照明条件に基づいて微細パターンをウェハ(感光性基板)W上に忠実に転写することができる。

[0094] ところで、上述の実施形態では、オブティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ10と被照射面としてのマスクMとの間の光路中に配置される光透過部材が径方向に大型化し易く、外部からの力を受けたときに複屈折性に起因して通過する光の偏光状態が変化し易い。したがって、光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えるには、オブティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイレンズ10と被照射面としてのマスクMとの間の光路中に配置される光透過部材のうち、径方向に比較的大型な光透過部材を保持部材により三点支持することが好ましい。

[0095] また、上述の実施形態において、図10に示すように、光透過部材60と隣り合う光透過部材61を保持部材(72, 73)によりほぼ対向する3つの領域で両側から三点支持する場合、保持部材(71, 72)による光透過部材60の三点支持位置と保持部材(72, 73)による光透過部材61の三点支持位置とを光軸廻りに位置ずれさせることが好ましい。この構成により、複数の光透過部材の三点支持の影響を光軸廻りの角度方向に分散させることができ、ひいては光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えることができる。この点は、隣り合う光透過部材の間に限定されることなく、一般に複数の光透過部材について同様である。

[0096] 以上のように、上述の実施形態において、光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えるには、保持部材により三点支持された状態において、光透過部材の有効領域における複屈折量は $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下であることが良い。さらに、図11及び図1

2に示すように、光透過部材(60、61)の代わりに、有効領域外の全周囲部に光軸AXと直交する面62aを有する切欠き部(加工部)が形成された光透過部材62を用いることが好ましい。これにより、図10に示すように、光透過部材(60、61)の代わりに、光透過部材62の如く切欠き部(加工部)が形成された2つの光透過部材を3点支持することにより、保持に起因する外部応力をより一層抑えることができる。

[0097] なお、保持による応力を低減させるため、支持部材等の金物部材が接する光透過部材等の光学部材の支持部は、光軸AXと垂直な平面部を光学部材の周辺部に加工により施したものに限らず、光学部材の少なくとも片面が平面部のものであっても良い。また、光学部材は加工がなされた平面部で支持部材により応力を受ける際、径方向や回転方向にブレのない支持形態として、以上にて3点支持の例を示したが、これに限ることなく、径方向や回転方向にブレのない支持形態を用いることができれば何でも良い。

[0098] 更に、支持を行った際、歪み計測機等で支持部近傍の光学部材の歪みを計測し、その計測された歪みに基づき、応力で発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下(より好ましくは $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下)となるように、押圧金物のトルクやばね定数を調整する工程を実施することが更に望ましい。さらには、図11及び図12に示すように、光透過部材62の有効領域から 3mm 以上離れた個所(周縁部)に光軸AXと直交する面62aを有する切欠き部を形成すれば、光透過部材62を保持することによる外部応力をより一層確実に低減できる。

[0099] なお、第1の手法では、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた光学材料を用いて各光透過部材を形成することが好ましい。また、第2の手法では、外部応力に起因して発生する複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように各光透過部材を保持することが好ましい。この場合、照明光路中における光の偏光状態の変化をさらに良好に抑え、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させてさらに忠実で且つさらに良好な露光を行うことができる。さらには、第1手法と第2手法とを組み合わせることにより、相乗的効果が期待できる。

[0100] また、上述の説明では、内部歪みや外部応力により発生する複屈折の影響に着目しているが、結像光学系13の光路中に配置された一对の折り曲げミラーM1および

M2では比較的広い入射角度範囲に亘って光線が入射するためP偏光とS偏光との間に反射により発生する位相差(P-S位相差)が発生し、ひいては折り曲げミラーM1およびM2を通過する光の偏光状態が変化する。そこで、本実施形態では、第3の手法として、反射膜に対してP偏光で入射する光とS偏光で入射する光と間に反射により発生する位相差が反射膜に入射するすべての光線について15度以内になるように、折り曲げミラーM1およびM2をそれぞれ形成する。

[0101] この構成により、これらの折り曲げミラーM1およびM2を含む照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光でマスクM(またはウェハW)を照明することができ、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができる。なお、第3の手法では、P偏光とS偏光と間に反射により発生する位相差を10度以内に抑えることが好ましい。この場合、折り曲げミラーM1およびM2における光の偏光状態の変化をさらに良好に抑え、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させてさらに忠実で且つさらに良好な露光を行うことができる。

[0102] ところで、たとえば内部歪みに起因して回転非対称な分布(典型的には傾斜分布)にしたがう複屈折が複数の光透過部材に発生すると、これらの光透過部材における複屈折分布の組合せによっては、フィールド内の偏光状態(ウェハW上の露光領域ER内の各位置に関する瞳面内の偏光状態)が実質的に不均一になったり、瞳面内の偏光状態が所望の偏光状態(たとえば周方向偏光状態)から実質的に異なる状態に変化したりすることがある。フィールド内の偏光状態が実質的に不均一になる(たとえば露光領域ERの中心に達する光に関する瞳面内の偏光状態と露光領域ERの周辺に達する光に関する瞳面内の偏光状態とが実質的に異なる)と、ウェハW上に形成されるパターンの線幅が露光領域ER内の位置毎にばらついて、いわゆるフィールド内線幅差が発生することになる。

[0103] また、瞳面内の偏光状態が所望の偏光状態から実質的に異なる状態に変化すると、たとえばウェハW上において縦方向に沿って細長く延びるパターンと横方向に沿って細長く延びるパターンとの間で線幅がばらついて、いわゆるVH線幅差が発生することになる。そこで、本実施形態では、第4の手法として、偏光設定部(3, 7)中の偏

光状態切換部3とマスクM(またはウェハW)との間の光路中に配置された各光透過部材において内部歪みに起因して発生する複屈折の影響を相殺により低減するために、光軸AXを中心とした所要の回転角度位置に各光透過部材をそれぞれ位置決めする。

[0104] この構成により、照明光路中における光の偏光状態の変化を良好に抑えて、所望の偏光状態の光でマスクM(またはウェハW)を照明することができ、ひいては微細パターンをウェハW上に所望の偏光状態で結像させて忠実で且つ良好な露光を行うことができる。さらに具体的には、上述のクロッキング手法により、フィールド内の偏光状態がほぼ均一になるように調整してフィールド内線幅差の発生を抑えるとともに、瞳面内の偏光状態が所望の偏光状態に近づくように調整してVH線幅差の発生を抑えることができる。

[0105] 上述の第1～第4の手法はそれぞれ単独で適用しても良いし、2つ以上の手法を適宜組み合わせて適用することもできる。以下、本実施形態にかかる照明光学装置の製造方法について説明する。図13は、本実施形態にかかる照明光学装置の製造方法の各工程を示すフローチャートである。図13を参照すると、本実施形態の製造方法では、たとえば石英のような光学材料からなるインゴットを製造する(S1)。具体的に、石英からなるインゴットは例えばスート法や直接法を用いて得られるが、その詳細については国際公開WO00/41226号公報などを参照することができる。

[0106] 次いで、製造工程S1で得られたインゴットを切断(切り出し加工)して、照明光学装置中の各光透過部材を形成するためのバルク材を準備する(S2)。ここで、「バルク材」とは、インゴットから切り出したままのものや、対応する光透過部材の大きさおよび形状に応じてある程度加工されたものを含む概念である。具体的に、形成すべき光透過部材がレンズである場合には、バルク材の形状を薄い円柱形状とすることが好ましく、円柱形状のバルク材(すなわちディスク材)の口径および厚さは、レンズの有効径(外径)および光軸方向の厚さに合わせて定められることが望ましい。準備工程S2では、インゴットより切り出されたバルク材に対して、必要に応じてアニール処理を行う。

[0107] 次いで、準備工程S2で得られた各バルク材の複屈折量を測定する(S3)。具体的

に、測定工程S3では、各バルク材の進相軸方向および複屈折量(単位距離だけ透過したときに内部歪みに起因してP偏光とS偏光との間に発生する位相差量)の分布を測定する。なお、バルク材の進相軸方向および複屈折量の測定については、たとえば国際公開WO00/41226号公報やWO03/007045号公報を参照することができる。

[0108] 次いで、1つの照明光学装置を構成するための光透過部材とバルク材との組合せを想定する(S4)。具体的に、組合せ想定工程S4では、照明光学装置を構成するのに用いるべきバルク材のセット(組合せ)を初期的に選定し、このセットにおける各バルク材の光軸廻りの回転角度位置を初期的に決定する。組合せ想定工程S4では、バルク材のセットが複数想定されることになるが、以下の説明ではバルク材の1つのセットに着目する。

[0109] こうして、本実施形態の製造方法では、組合せ想定工程S4で初期的に想定したバルク材のセットを用いた場合に照明光路中における光の偏光状態の変化を所望の範囲内に抑えることができるか否かをシミュレーションにより評価する(S5)。具体的に、評価工程S5では、たとえば各レンズ(一般には光透過部材)のデータ(曲率半径, 中心厚, 空気間隔, 屈折率など)、折り曲げミラー(M1, M2)の反射膜の入射角に対するP-S位相差の設計値(または計測値)、測定工程S3で得られた各バルク材の測定結果(進相軸方位, 複屈折量の分布)を参照し、照明光路中における光の偏光状態の変化を算出する。

[0110] ところで、偏光状態を記述する方法として、ストークスパラメータ(S_0, S_1, S_2, S_3)を用いることができる。ここで、 S_0 は光の全強度($I_{0^\circ} + I_{90^\circ}$)、 S_1 は横偏光と縦偏光との強度差($I_{0^\circ} - I_{90^\circ}$)、 S_2 は 45° 偏光と 135° 偏光との強度差($I_{45^\circ} - I_{135^\circ}$)、 S_3 は右回偏光と左回偏光との強度差($I_{\text{右回}} - I_{\text{左回}}$)として定義される。また、 S_0 を1に正規化した基準化ストークスパラメータ(S'_1, S'_2, S'_3)を用いることができる。ここで、 $S'_1 = S_1 / S_0$ であり、 $S'_2 = S_2 / S_0$ であり、 $S'_3 = S_3 / S_0$ である。

[0111] 評価工程S5では、図14(a)に示すように、光学系の入射瞳の矩形格子点に光線を入射させる。このとき、図14(b)に示すように全ての入射光線が横偏光である場合、その基準化ストークスパラメータ(S'_1, S'_2, S'_3) = (1, 0, 0)である。評価工程S5

では、偏光光線追跡を試みることにより、光透過部材の内部歪みに起因する複屈折の影響や折り曲げミラー(M1, M2)の反射膜のP-S位相差の影響により入射瞳への入射光線の偏光状態がどのように変化するかを算出する。

[0112] こうして、入射瞳の矩形格子点に対応して、図14(c)に示すように射出瞳の偏光マップが求められる。具体的に、入射瞳の矩形格子点の各光線について、入射偏光状態 $(S_1', S_2', S_3') = (1, 0, 0)$ から射出偏光状態 (S_1'', S_2'', S_3'') が求まる。評価工程S5では、入射横偏光成分 $S_1' = S(\text{in})$ とし、射出横偏光成分 $S_1'' = S(\text{out})$ とし、 $S(\text{out})/S(\text{in}) = S_1''/S_1' \geq 0.8$ であれば、照明光路中における光の偏光状態の変化が所望の範囲内に抑えられているものと評価する。

[0113] また、図14(d)に示すように、光学系の入射瞳の矩形格子点に縦偏光の光線を入射させる場合も同様に、 $S(\text{out})/S(\text{in}) = S_1''/S_1' \geq 0.8$ であれば、照明光路中における光の偏光状態の変化が所望の範囲内に抑えられているものと評価する。なお、上述したように、高開口数の投影光学系の結像性能を向上させるには、周方向偏光状態を用いることが有効である。そこで、評価工程S5では、図15(a)に示すように、入射瞳を4分割し、全体として周方向偏光状態になるように、瞳分割領域毎に偏光方向の異なる光線を入射させてもよい。ただし、図15(a)では、説明の簡単のために矩形格子点の一部を省略している。

[0114] この場合、瞳分割領域AおよびBには横偏光の光線が入射し、瞳分割領域CおよびDには縦偏光の光線が入射する。したがって、入射光線の基準化ストークスパラメータ $(S_1', S_2', S_3') = (1, 0, 0)$ は、領域AおよびBでは $(1, 0, 0)$ になり、領域CおよびDでは $(-1, 0, 0)$ になる。そして、入射光線の偏光状態が完全に維持される理想状態では、領域AおよびBに対応する射出光線の基準化ストークスパラメータ $(S_1'', S_2'', S_3'') = (1, 0, 0)$ となり、領域CおよびDに対応する射出光線の基準化ストークスパラメータ $(S_1'', S_2'', S_3'') = (-1, 0, 0)$ となる。こうして、この場合においても、 $S(\text{out})/S(\text{in}) = S_1''/S_1' \geq 0.8$ であれば、照明光路中における光の偏光状態の変化が所望の範囲内に抑えられているものと評価する。

[0115] 同様に、図15(b)に示すように、入射瞳を8分割し、全体として周方向偏光状態になるように、瞳分割領域毎に偏光方向の異なる光線を入射させてもよい。ただし、図1

5(b)においても、説明の簡単のために矩形格子点の一部を省略している。この場合、入射光線の基準化ストークスパラメータ(S_1' , S_2' , S_3')は、瞳分割領域AおよびBでは(1, 0, 0)になり、瞳分割領域CおよびDでは(-1, 0, 0)になり、瞳分割領域EおよびFでは(0, 1, 0)になり、瞳分割領域GおよびHでは(0, -1, 0)になる。

[0116] そして、入射光線の偏光状態が完全に維持される理想状態では、領域AおよびBに対応する射出光線の基準化ストークスパラメータ(S_1'' , S_2'' , S_3'') = (1, 0, 0)となり、領域CおよびDに対応する射出光線の基準化ストークスパラメータ(S_1'' , S_2'' , S_3'') = (-1, 0, 0)となり、領域EおよびFに対応する射出光線の基準化ストークスパラメータ(S_1'' , S_2'' , S_3'') = (0, 1, 0)となり、領域GおよびHに対応する射出光線の基準化ストークスパラメータ(S_1'' , S_2'' , S_3'') = (0, -1, 0)となる。こうして、領域A～Dに対応して $S(\text{out})/S(\text{in}) = S_1''/S_1' \geq 0.8$ であり、領域E～Hに対応して $S(\text{out})/S(\text{in}) = S_2''/S_2' \geq 0.8$ であれば、照明光路中における光の偏光状態の変化が所望の範囲内に抑えられているものと評価する。

[0117] なお、上述の説明では、入射瞳の光線マップ毎に偏光指標(評価指標)を決めて最適化の基準を示している。実際の照明光学装置では、二次光源が円形状、輪帯形状、4極形状などになり、入射瞳面内で面積を持っている。したがって、評価工程S5では、各二次光源において、その開口内に含まれる光線の偏光指標 $S(\text{out})/S(\text{in})$ の平均値が0.8以上であることを最適化の基準とする。また、上述の説明では、照明領域内の1点に関する瞳内光線マップの偏光状態について述べているが、照明領域の全体に亘って偏光指標 $S(\text{out})/S(\text{in})$ の平均値が0.8以上であることを最適化の基準とする。

[0118] さらに、評価工程S5では、照明領域内の各点に関する偏光指標 $S(\text{out})/S(\text{in})$ の平均値のばらつき幅が0.05以下であることも最適化の基準とする。なお、上述の評価工程S5は、簡単のために、マスクブラインド12とマスクMとの間の部分光学系を対象としている。これは、この部分光学系が、折り曲げミラー(M1, M2)、および内部歪みの影響を無視することのできない径の大きなレンズを有するからである。

[0119] 以上のように、評価工程S5では、組合せ想定工程S4において初期的に選定したバルク材のセットを各光透過部材に加工し且つ初期的に決定した回転角度位置に

各光透過部材をそれぞれ位置決めした場合に、上述した最適化の基準を満たすことができるか否かを、ひいては照明光路中における光の偏光状態の変化が所望の範囲内に抑えられるか否かを評価する。評価結果が肯定的である場合(図13中YESの場合)、各バルク材を加工して各光透過部材を形成する加工工程S6へ進む。

[0120] 一方、評価結果が否定的である場合(図13中NGの場合)、任意のバルク材(光透過部材)の回転角度位置を変更する(S7)。すなわち、変更工程S7では、フィールド内の偏光状態がほぼ均一になるように調整するとともに瞳面内の偏光状態が所望の偏光状態に近づくように調整するために、前述したクロッキング手法を適用する。そして、上記任意の光透過部材を変更後の回転角度位置に位置決めし直した場合に、照明光路中における光の偏光状態の変化が所望の範囲内に抑えられるか否かを評価する。例えば、ここでは、クロッキング手法による各バルク材(光透過部材)の基準軸(光軸)廻りの回転角度位置の最適化により、内部歪みによる複屈折量を適切に抑えるべき光学系の光軸に非対称な複屈折分布を最適化させ得るか否かを評価する。

[0121] 評価結果が肯定的である場合には加工工程S6へ進むが、評価結果が否定的である場合には、肯定的な評価結果が得られるまで変更工程S7と評価工程S5とを繰り返す。評価工程S5において肯定的な評価結果が得られた場合、上述したように加工工程S6において各バルク材を加工して各光透過部材を形成し、加工工程S6を経て形成された各光透過部材を、評価工程S5において最適化された回転角度位置にそれぞれ設定して組み込む(S8)。

[0122] なお、上述した本実施形態の製造方法では、評価工程S5において肯定的な評価結果を得ることが困難な場合、図13に示すように、任意のバルク材を例えば他のセットのバルク材と変更し(S9)、ひいてはバルク材の組合せを変更してもよい。また、第2変更工程S9では、任意のバルク材を、最適化の基準を満たすための所望の複屈折分布が付与されたバルク材に変更することもできる。以下、所望の複屈折分布を付与する手法について簡単に説明する。

[0123] 例えば石英またはフッ素がドーピングされた石英(以下、「改質石英」と称する)のような非結晶材料で形成された非結晶透過部材の場合、その理想的な状態では複屈折性が発生しない。しかしながら、石英または改質石英では、不純物が混入した場合や、

高温で形成された石英を冷却する際に温度分布が生じた場合には、内部応力による複屈折性が現れる。

[0124] したがって、インゴットに混入させる不純物の量や種類、または熱履歴を調整することにより、石英または改質石英に所望の複屈折分布を発生させることができる。換言すれば、製造時における不純物、熱履歴による密度分布のうちの少なくとも一方を調整することにより、光軸に関して回転対称(または非回転対称)な所望の複屈折分布を非結晶透過部材に付与することができる。

[0125] なお、不純物としては、OH、Cl、金属不純物、溶存ガスが挙げられ、ダイレクト法(Direct Method)の場合は、数百ppm以上含有されるOH、次いで数十ppm含有されるClが混入量から支配的であると考えられる。この不純物がインゴットに混入した場合には材料の熱膨張率が変化するので、例えばアニール後に冷却する場合には、不純物が混入した部分の縮み方が大きくなり、この縮み方の差による内部応力が発生し、応力複屈折が生じる。また、熱履歴に関しては、上記ダイレクト法、VAD(vapor axial deposition)法、ゾルゲル(sol-gel)法、プラズマバーナ(plasma burner)法などの製造方法によらずに存在する。

[0126] また、上述した本実施形態の製造方法では、評価工程S5を経ってから、各バルク材を加工して各光透過部材を形成する加工工程S6を行っている。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば測定工程S3の後に評価工程S5に先立って、あるいは評価工程S5と並行的に加工工程S6を行うこともできる。

[0127] また、上述した本実施形態の製造方法では、測定工程S3の後に複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられたバルク材を選別するバルク材選別工程を付加することもできる。この場合、評価工程S5において肯定的な評価結果を得ることが容易になる。なお、評価工程S5において肯定的な評価結果がさらに容易に得られるようにするには、選別工程において複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられたバルク材を選別することが好ましい。

[0128] 以上のように、第1～第4の手法をまとめた第5の手法による実施の形態を図16に示す。図16に示す如く、適切な内部応力を持つ光学部材を選定する工程S10では、光学部材の計測等により、複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられたバルク部材ま

たはレンズ等を選定し、光学部材の内部歪みに起因して発生する複屈折量の管理を行う。ここで、図13の第4の手法の工程に対応させると、図16の工程S10は、工程S1、工程S2、および工程S3を含む。

[0129] なお、この工程S10では、主に光透過性の光学部材について述べたが、偏光設定部(3, 7)と被照射面(マスク等)との間の光路中に配置される光学系が反射部材を含む場合には、その反射部材の反射膜に対してP偏光で入射する光とS偏光で入射する光と間に反射により発生する位相差が反射膜に入射するすべての光線について15度以内になるよう反射部材を選定することが望ましいことは言うまでもない。また、装置のより高性能化のためには、内部歪みによる複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた光学部材を選定することがより望ましいことは言うまでもない。

[0130] 次に、回転角度の位置の設定の工程S11は、図13の第4の手法の工程に対応させると、工程S4、工程S5、工程S7および工程S9を含むものである。例えば、この工程S11では、クロッキング手法による各光学部材(バルク材、光透過部材)の基準軸(光軸)廻りの回転角度位置の最適化により、内部歪みによる複屈折量を適切に抑えるべき光学系の光軸に非対称な複屈折分布を最適化させ得るか否かを評価する。なお、工程S11では、偏光設定部(3, 7)と被照射面(マスク等)との間の光路中に配置される光学系が反射部材を含む場合には、工程S10にて選定された反射部材の反射特性を含めて評価する。

[0131] ここで、工程S11にて、最適化できない場合(図16中NGで示す)には、工程S10へ戻り、再度、適切な内部歪み分布を持つ光学部材の選定を行い、工程S11にて、最適化できた場合(図16中YESで示す)には、次の工程S12へ移行する。

[0132] 光学系(光学ユニット)の製造工程S12は、図13の第4の手法の工程に対応させると、各光学部材の加工形成の工程S6および各光学部材の組み込み工程S8を含むものである。ここで、工程S12は、各光学部材の加工形成の工程を経た光学部材の組み込みに際して、図9～図12に示したように、外部から付与される歪み(応力等)により発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように光学部材の保持または支持する工程を含む。すなわち、工程S12は、外部から付与される歪みによる複屈折量または複屈折分布を管理する工程を含み、この管理工程は、上記保持工程

を含む。

- [0133] なお、工程S12において、装置のより高性能化のためには、外部からの歪みにより発生する複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように光学部材を保持することがより望ましいことは言うまでもない。
- [0134] 以上のように、図16に示す手法を、1つの視点で述べれば、偏光設定部(3, 7)と被照射面(マスク等)との間の光路中に配置される光学系の複屈折量を管理する工程、または偏光設定部と被照射面との間の光路中に複屈折量が管理された光学系を配置するという手段を講ずることにより、被照射面、ひいては瞳面にて良好なる偏光状態の照明分布を得ることができる。
- [0135] また、図16に示す手法を別の視点で述べれば、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置される光学系を介して被照射面に至る光の偏光状態が、所定の偏光状態となるように、偏光設定部から被照射面までの間の光路における偏光特性を維持する工程、または偏光設定部と被照射面との間の光路中に、被照射面での光の偏光状態が所定の偏光状態となるように、被照射面に達する光の偏光状態を維持する光学系を配置するという手段を講ずることにより、被照射面、ひいては瞳面にて良好なる偏光状態の照明分布を得ることができる。
- [0136] 以上の2つの視点では、予め、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置される光学系の一部または一部以上(光学系全体も含む)に関する情報(例えば、複屈折等に関する光学系の許容できる光学性能情報、および図13の工程S3のように光学系を構成する少なくとも1つの光学部材の複屈折に関する測定等の情報の少なくとも1つの情報等)を得ておくことが好ましい。
- [0137] なお、図16では、バルク材からの複屈折量の計測値に基づいて光学部材の管理を行った例を示したが、バルク材から所定の加工を行ってレンズ等の光学部材を形成し、加工された光学部材の複屈折量や複屈折分布に基づき、工程S10を実行して良い。この場合、工程S12内での光学部材の加工工程は不要となり、各光学部材の組み込み工程等が実行される。
- [0138] また、図16では照明光学装置や照明光学装置を備えた露光装置を製造する例を主に説明したが、照明光学装置の定期的なメンテナンス(修理、保守、点検)の場合

について、図16を流用しながら説明する。

- [0139] まず、メンテナンス時には、適切な交換用の光学部材や適切な交換用の光学ユニットを選定する工程S20では、まず、照明光学系に関する偏光光学性能等の情報(偏光測定部14の実計測値や照明光学系の製造時の計測値等の情報)、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置される光学系に関する複屈折特性や偏光特性等の光学情報(偏光測定部14の実測値や光学系の製造時の計測値等の情報)、または偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置される光学系の少なくとも1つの光学部材に関する偏光光学性能の情報(偏光測定部14の実測値や光学部材の製造時の計測値等の情報)の少なくとも1つを予め得る。その後、上記のように、得られた光学系に関する情報に基づいて、交換すべき光学部材や光学ユニットを特定し、内部歪みによる複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた適切な交換用の光学部材や、適切な交換用の光学ユニットを選定する。
- [0140] 次に、工程S21では、選定された光学部材の適切な回転角度位置を設定して、図13に示す各工程(S4、S5、S7、S9)のように評価し、良好な結果が得られれば、次の光学系の製造工程(光学系の調整工程)へ移行する。もし、工程S21にて、良好な評価結果が得られない場合には、前の選定工程S20へ戻る。
- [0141] 次に、各光学部材を加工した後、各光学部材を照明光学系内に組み込む。この組み込み工程は、外部から付与される歪み(応力等)により発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように光学部材の保持または支持する工程を含む。すなわち、工程S22は、外部から付与される歪みによる複屈折量または複屈折分布を管理する工程を含み、この管理工程は、上記保持工程を含む。
- [0142] なお、図16の工程S20では、バルク材からの複屈折量の計測値に基づいて光学部材の管理を行った例を示したが、バルク材から所定の加工を行ってレンズ等の光学部材を形成し、加工された光学部材の複屈折量や複屈折分布に基づき、工程S20を実行して良い。この場合、光学系の製造工程(調整工程)S22内での光学部材の加工工程は不要となり、各光学部材の組み込み工程等が実行される。
- [0143] 以上のように、図16に示すメンテナンス手法を、1つの視点で述べれば、偏光設定部(3、7)と被照射面(マスク等)との間の光路中に配置される光学系の複屈折量を

管理する工程、または偏光設定部と被照射面との間の光路中に複屈折量が管理された光学系を配置するという手段を講ずることにより、被照射面、ひいては瞳面にて良好なる偏光状態の照明分布を得ることができる。

[0144] また、上記の図16のメンテナンス手法を別の視点で述べれば、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置される光学系を介して被照射面に至る光の偏光状態が、所定の偏光状態となるように、偏光設定部から被照射面までの間の光路における偏光特性を維持する工程、または偏光設定部と被照射面との間の光路中に、被照射面での光の偏光状態が所定の偏光状態となるように、被照射面に達する光の偏光状態を維持する光学系を配置するという手段を講ずることにより、被照射面、ひいては瞳面にて良好なる偏光状態の照明分布を得ることができる。

[0145] 以上の2つの視点では、予め、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置される光学系の一部または一部以上(光学系全体も含む)に関する情報(例えば、図16の工程S20のように複屈折等に関する光学系に関する光学性能の計測等の情報、および光学系を構成する少なくとも1つの光学部材の複屈折に関する測定等の情報の少なくとも1つの情報等)を得ておくことが好ましい。

[0146] なお、図16のメンテナンス手法において、装置のより高性能化のためには、工程S20において、内部歪みにより発生する複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように光学部材を用いることが望ましく、また、工程S22において、外部からの歪みにより発生する複屈折量が $2\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように光学部材を保持することがより望ましいことは言うまでもない。

[0147] また、図16の工程S10～S12では主に照明光学系の製造方法の内容について説明したが、別の視点に立てば、図16の工程S10～S12は、露光装置の製造方法、照明光学系の調整方法、あるいは露光装置の調整方法ということもできる。また、図16の工程S20～S22では主に照明光学系の調整方法の内容について説明したが、別の視点に立てば、図16の工程S20～S22は、露光装置の調整方法、照明光学系の製造方法、あるいは露光装置の製造方法ということもできる。

[0148] なお、上述の実施形態では、円錐アキシコン系8の直前(アフォーカルレンズ5の瞳またはその近傍)に偏光変換素子7を配置している。しかしながら、これに限定される

ことなく、たとえば結像光学系13の瞳またはその近傍や、マイクロフライアイレンズ10の直前や直後などに偏光変換素子7を配置することもできる。ただし、結像光学系13の光路中またはマイクロフライアイレンズ10の前後に偏光変換素子7を配置すると、偏光変換素子7の所要有効径が大きくなり易いため、高品質で大きい水晶基板を得ることが困難である現状を考えるとあまり好ましくない。

[0149] また、上述の実施形態では、偏光変換素子7の少なくとも一方の面(たとえば射出面)が凹凸状に形成され、ひいては偏光変換素子7が周方向に離散的(不連続的)に変化する厚さ分布を有する。しかしながら、これに限定されることなく、偏光変換素子7が周方向にほぼ不連続的に変化する厚さ分布を有するように、偏光変換素子7の少なくとも一方の面(たとえば射出面)を曲面状に形成することもできる。

[0150] また、上述の実施形態では、輪帯状の有効領域の8分割に対応する8つの扇形形状の基本素子により偏光変換素子7を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、たとえば円形状の有効領域の8分割に対応する8つの扇形形状の基本素子により、あるいは円形状または輪帯状の有効領域の4分割に対応する4つの扇形形状の基本素子により、あるいは円形状または輪帯状の有効領域の16分割に対応する16つの扇形形状の基本素子により偏光変換素子7を構成することもできる。すなわち、偏光変換素子7の有効領域の形状、有効領域の分割数(基本素子の数)などについて様々な変形例が可能である。

[0151] また、上述の実施形態では、水晶を用いて各基本素子7A~7Dを(ひいては偏光変換素子7を)形成している。しかしながら、これに限定されることなく、旋光性を有する他の適当な光学材料を用いて各基本素子を形成することもできる。この場合、使用波長の光に対して100度/mm以上の旋光能を有する光学材料を用いることが好ましい。すなわち、旋光能の小さい光学材料を用いると、偏光方向の所要回転角を得るために必要な厚さが大きくなり過ぎて、光量損失の原因になるので好ましくない。

[0152] 上述の実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク(レチクル)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、上述の実

施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図17のフローチャートを参照して説明する。

[0153] まず、図17のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更なるレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

[0154] また、上述の実施形態の露光装置では、プレート(ガラス基板)上に所定のパターン(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図18のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図18において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板(レジストが塗布されたガラス基板等)に転写露光する、所謂光リソグラフィー工程が実行される。この光リソグラフィー工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

[0155] 次に、カラーフィルター形成工程402では、R(Red)、G(Green)、B(Blue)に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行され

る。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル(液晶セル)を組み立てる。

[0156] セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル(液晶セル)を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル(液晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

[0157] なお、上述の実施形態では、露光光としてKrFエキシマレーザ光(波長:248nm)やArFエキシマレーザ光(波長:193nm)を用いているが、これに限定されることなく、他の適当なレーザ光源、たとえば波長157nmのレーザ光を供給するF₂レーザ光源などに対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた露光装置を例にとつて本発明を説明したが、以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

[0158] また、上述の実施形態において、投影光学系と感光性基板との間の光路中を1.1よりも大きな屈折率を有する媒体(典型的には液体)で満たす手法、所謂液浸法を適用しても良い。この場合、投影光学系と感光性基板との間の光路中に液体を満たす手法としては、国際公開番号WO99/49504号公報に開示されているような局所的に液体を満たす手法や、特開平6-124873号公報に開示されているような露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる手法や、特開平10-303114号公報に開示されているようなステージ上に所定深さの液体槽を形成し、その中に基板を保持する手法などを採用することができる。

[0159] なお、液体としては、露光光に対する透過性があるだけ屈折率が高く、投影光学系や基板表面に塗布されているフォトリソストに対して安定なものを用いることが好ましく、たとえばKrFエキシマレーザ光やArFエキシマレーザ光を露光光とす

る場合には、液体として純水、脱イオン水を用いることができる。また、露光光として F_2 レーザ光を用いる場合は、液体としては F_2 レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル(PFPE)等のフッ素系の液体を用いればよい。

符号の説明

- [0160] 1 光源
3 偏光状態切換部
3a 1/4波長板
3b 1/2波長板
4 回折光学素子(光束変換素子)
5 アフォーカルレンズ
7 偏光変換素子
8 円錐アキシコン系
9 ズームレンズ
10 マイクロフライアイレンズ
11 コンデンサー光学系
12 マスクブラインド
13 結像光学系
14 偏光測定部
20 制御部
21 駆動部
M マスク
PL 投影光学系
W ウェハ
M1, M2 折り曲げミラー

請求の範囲

- [1] 光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部を備え、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置された複数の光透過部材の各々は、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられた光学材料により形成されていることを特徴とする照明光学装置。
- [2] 前記複数の光透過部材は、各光透過部材において内部歪みに起因して発生する複屈折の影響を相殺により低減するために、光軸を中心とした所要の回転角度位置にそれぞれ位置決めされていることを特徴とする請求項1に記載の照明光学装置。
- [3] 前記複数の光透過部材の各々は、外部応力に起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように保持されていることを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学装置。
- [4] 光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部を備え、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置された複数の光透過部材は、各光透過部材において内部歪みに起因して発生する複屈折の影響を相殺により低減するために、光軸を中心とした所要の回転角度位置にそれぞれ位置決めされていることを特徴とする照明光学装置。
- [5] 前記複数の光透過部材の各々は、外部応力に起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように保持されていることを特徴とする請求項4に記載の照明光学装置。
- [6] 前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて光路を折り曲げるための折り曲げミラーをさらに備え、
前記折り曲げミラーの反射膜は、該反射膜に対してP偏光で入射する光と前記反射膜に対してS偏光で入射する光と間に反射により発生する位相差が、前記反射膜に入射するすべての光線について15度以内になるように形成されていることを特徴

とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の照明光学装置。

- [7] 光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面に達する光の偏光状態を所定の偏光状態に設定するための偏光設定部と、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて光路を折り曲げるための折り曲げミラーとを備え、
前記折り曲げミラーの反射膜は、該反射膜に対してP偏光で入射する光と前記反射膜に対してS偏光で入射する光と間に反射により発生する位相差が、前記反射膜に入射するすべての光線について15度以内になるように形成されていることを特徴とする照明光学装置。
- [8] 光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部と、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて複屈折量が管理された光学系とを有することを特徴とする照明光学装置。
- [9] 光源から供給される光に基づいて被照射面を照明する照明光学装置において、
前記光源と前記被照射面との間の光路中に配置されて前記被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部と、
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されて、前記被照射面での光の偏光状態が前記所定の偏光状態となるように、前記被照射面に達する光の偏光状態を維持する光学系とを有することを特徴とする照明光学装置。
- [10] 前記光学系は、管理された複屈折量を有する複数の光学部材を有することを特徴とする請求項8または9に記載の照明光学装置。
- [11] 前記複数の光学部材は、光軸を中心とした所要の回転角度位置にそれぞれ位置決めされていることを特徴とする請求項10に記載の照明光学装置。
- [12] 前記複数の光学部材は、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下であることを特徴とする請求項10または11に記載の照明光学装置。
- [13] 前記複数の光学部材は、外部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下

に抑えられるように保持されていることを特徴とする請求項10乃至12のいずれか1項に記載の照明光学装置。

- [14] 複数の光透過部材を有する照明光学装置の製造方法において、
前記複数の光透過部材の各々を形成するためのバルク材を準備するバルク材準備工程と、
前記準備された各バルク材の複屈折量を測定する測定工程と、
前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材に関する前記測定工程からの各バルク材の測定情報を収集して、複屈折の影響を許容することのできる前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材の適切な組み合わせを選定し、該複数の光透過部材の適切な組み合わせによる各光透過部材の設定位置を求める算出工程と、
前記複数のバルク材を加工して各光透過部材を形成する加工工程と、
前記算出工程の結果に基づき、前記加工工程にて加工された複数の光透過部材をそれぞれ所定の設定位置に組み込む組込工程とを含むことを特徴とする照明光学装置の製造方法。
- [15] 前記算出工程は、前記収集された情報に基づいて、前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材の組み合わせに関して、各光透過部材における複屈折の影響を許容範囲まで低減するために、各光透過部材の光軸を中心とした回転角度位置を計算上で最適化し、最適化し得る前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材の組み合わせを求め、前記複数の光透過部材の最適な組み合わせのもとでの各光透過部材の回転角度位置を求める最適化工程を含み、
前記組込工程は、前記最適化された回転角度位置の情報に基づいて、前記加工工程にて加工された複数の光透過部材をそれぞれ所定の回転角度位置に設定して組み込む工程を含むことを特徴とする請求項14に記載の照明光学装置の製造方法。
- [16] 前記最適化工程は、前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材の最適化し得る組み合わせを求めるに際して、前記照明光学装置の少なくとも

一部を構成する複数の光透過部材の組み合わせにおける少なくとも1つの光透過学部材に関するバルク材の測定情報を別のバルク材に測定情報に入れ替える工程を含むことを特徴とする請求項15に記載の照明光学装置の製造方法。

- [17] 前記測定工程の後に複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられたバルク材を選別するバルク材選別工程をさらに含み、

前記算出工程は、前記バルク材選別工程にて選別された測定情報に基づいて、前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材に関する各バルク材の測定情報を収集して、複屈折の影響を許容することのできる前記照明光学装置の少なくとも一部を構成する複数の光透過部材の適切な組み合わせを選定し、該複数の光透過部材の適切な組み合わせによる各光透過部材の設定位置を求める工程を含むことを特徴とする請求項14乃至16のいずれか1項に記載の照明光学装置の製造方法。

- [18] 請求項1乃至13のいずれか1項に記載の照明光学装置または請求項14乃至17のいずれか1項に記載の製造方法によって製造された照明光学装置を備え、前記照明光学装置により照明されたマスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とすることを特徴とする露光装置。

- [19] 請求項1乃至13のいずれか1項に記載の照明光学装置または請求項14乃至17のいずれか1項に記載の製造方法によって製造された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光方法。

- [20] 請求項1乃至13のいずれか1項に記載の照明光学装置または請求項14乃至17のいずれか1項に記載の製造方法によって製造された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

- [21] 被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部を有する照明光学装置の調整方法において、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されるべき光学系の少なくとも一部に関する情報を得る工程と、

前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置される光学系の複屈折量を管理する管理工程とを含むことを特徴とする照明光学装置の調整方法。

- [22] 前記管理工程は、前記光学系が有する複数の光学部材の内部歪みにより発生する複屈折量を管理する工程を含むことを特徴とする請求項21に記載の照明光学装置の調整方法。
- [23] 前記内部歪みによる複屈折量を管理する工程は、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下となる光学部材を前記複数の光学部材として使用する工程を含むことを特徴とする請求項22に記載の照明光学装置の調整方法。
- [24] 前記管理工程は、前記光学系の内部に残留する光軸に対して回転非対称な複屈折分布を調整する工程を含むことを特徴とする請求項21乃至23のいずれか1項に記載の照明光学装置の調整方法。
- [25] 前記複屈折分布を調整する工程は、前記光学系が有する前記複数の光学部材を、光軸を中心とした所要の回転角度位置にそれぞれ位置決めする工程を含むことを特徴とする請求項24に記載の照明光学装置の調整方法。
- [26] 前記管理工程は、前記光学系に対して外部から付与される歪みに起因して発生する複屈折量を管理する工程を含むことを特徴とする請求項21乃至25のいずれか1項に記載の照明光学装置の調整方法。
- [27] 前記外部から付与される歪みに起因して発生する複屈折量を管理する工程は、外部から付与される歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように、前記光学系が有する前記複数の光学部材を保持する工程を含むことを特徴とする請求項26に記載の照明光学装置の調整方法。
- [28] 被照射面での光の偏光状態を所定の偏光状態に設定する偏光設定部を有する照明光学装置の調整方法において、

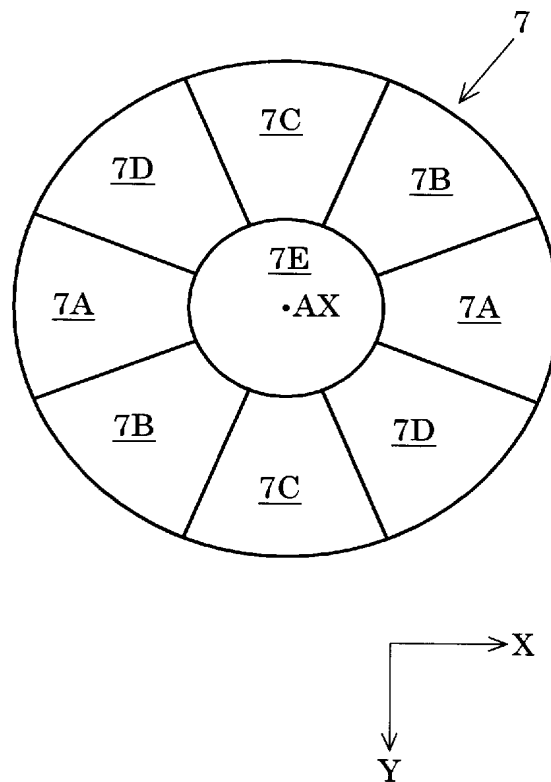
前記偏光設定部と前記被照射面との間の光路中に配置されるべき光学系の少なくとも一部に関する情報を得る工程と、

前記光学系を介して前記被照射面に至る光の偏光状態が前記所定の偏光状態となるように、前記偏光設定部から前記被照射面までの間の光路における偏光特性を維持する維持工程とを含むことを特徴とする照明光学装置の調整方法。

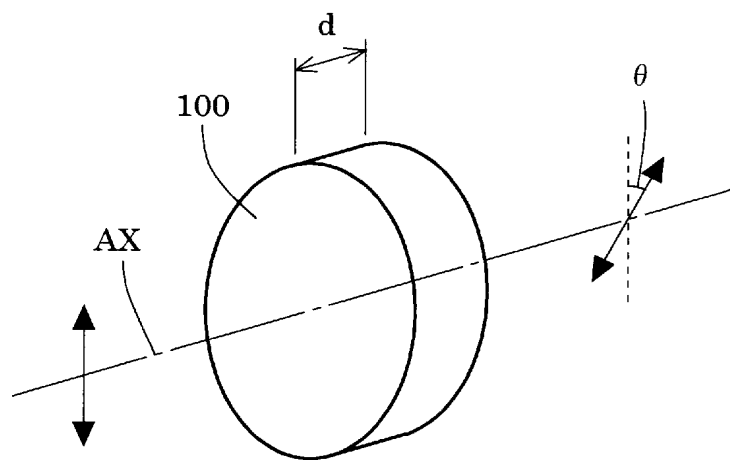
- [29] 前記維持工程は、前記光学系が有する複数の光学部材の内部歪みにより発生する複屈折量を管理する工程を含むことを特徴とする請求項28に記載の照明光学装置の調整方法。
- [30] 前記内部歪みによる複屈折量を管理する工程は、内部歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下となる光学部材を前記複数の光学部材として使用する工程を含むことを特徴とする請求項29に記載の照明光学装置の調整方法。
- [31] 前記維持工程は、前記光学系の内部に残留する光軸に対して回転非対称な複屈折分布を調整する工程を含むことを特徴とする請求項28乃至30のいずれか1項に記載の照明光学装置の調整方法。
- [32] 前記複屈折分布を調整する工程は、前記光学系が有する前記複数の光学部材を、光軸を中心とした所要の回転角度位置にそれぞれ位置決めする工程を含むことを特徴とする請求項31に記載の照明光学装置の調整方法。
- [33] 前記管理工程は、前記光学系に対して外部から付与される歪みに起因して発生する複屈折量を管理する工程を含むことを特徴とする請求項28乃至32のいずれか1項に記載の照明光学装置の調整方法。
- [34] 前記外部から付与される歪みに起因して発生する複屈折量を管理する工程は、外部から付与される歪みに起因して発生する複屈折量が $5\text{nm}/\text{cm}$ 以下に抑えられるように、前記光学系が有する前記複数の光学部材を保持する工程を含むことを特徴とする請求項33に記載の照明光学装置の調整方法。
- [35] 請求項21乃至34のいずれか1項に記載の調整方法によって調整された照明光学装置を備え、前記照明光学装置により照明されたマスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光装置。
- [36] 請求項21乃至34のいずれか1項に記載の調整方法によって調整された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光することを特徴とする露光方法。
- [37] 請求項21乃至34のいずれか1項に記載の調整方法によって調整された照明光学装置を用いて、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマ

マイクロデバイスの製造方法。

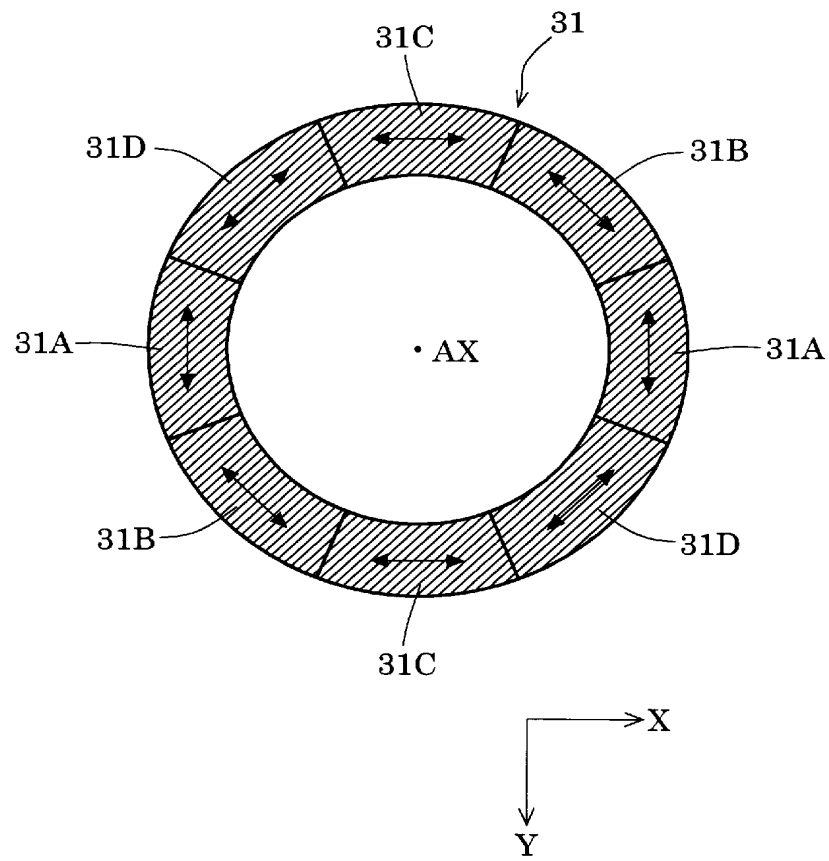
[[図2]]



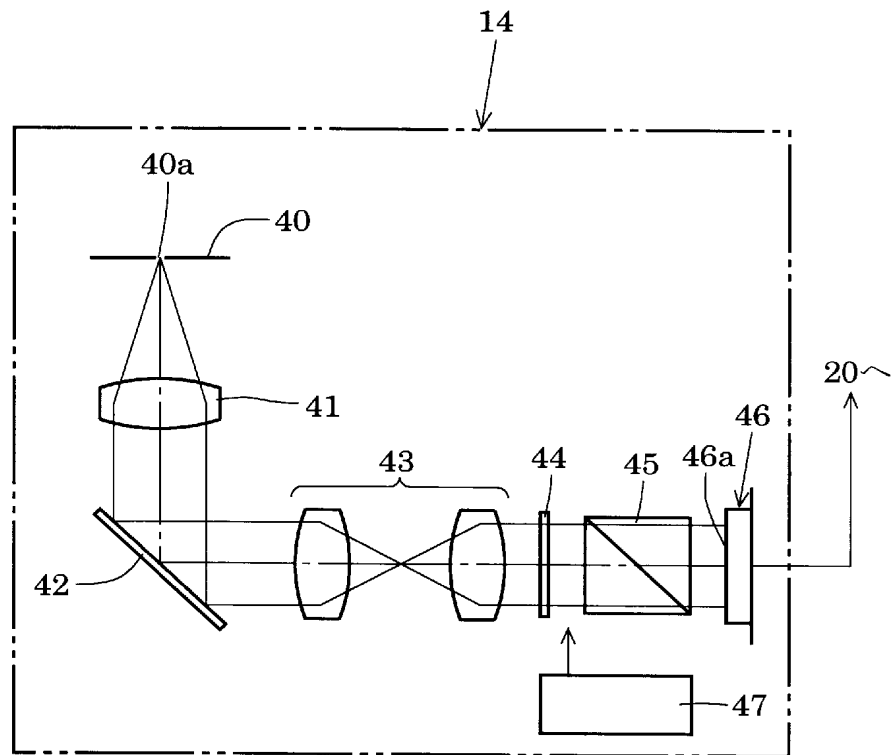
[[図3]]



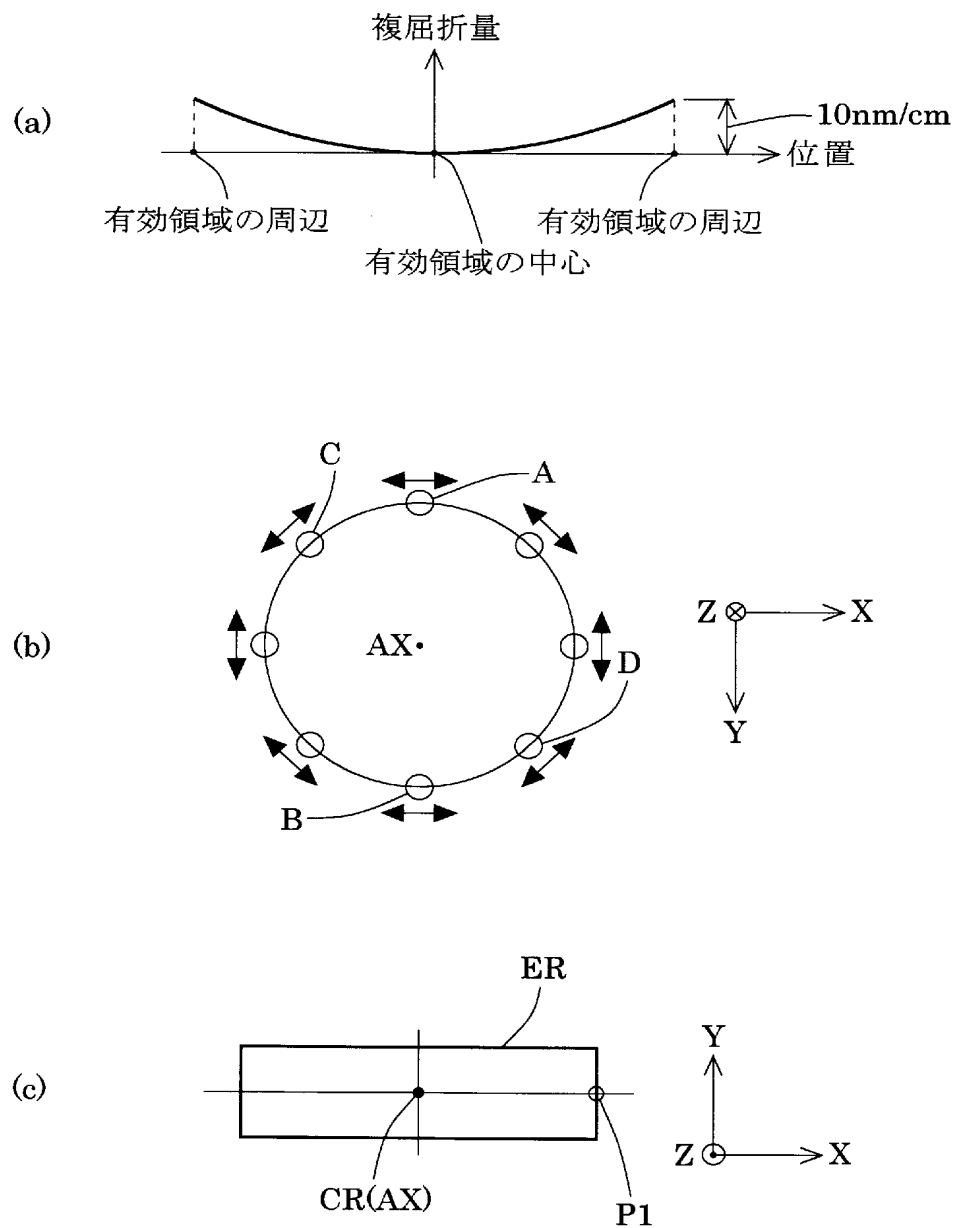
[図4]



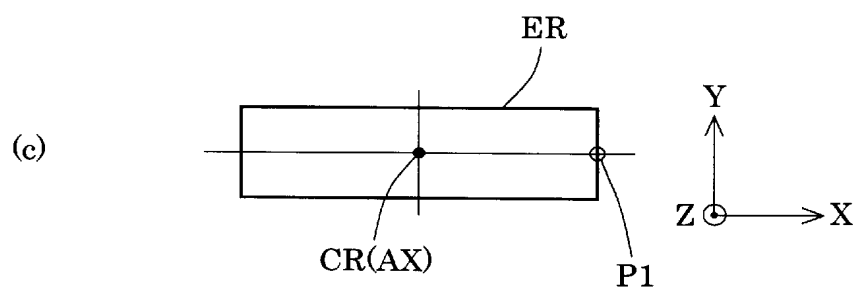
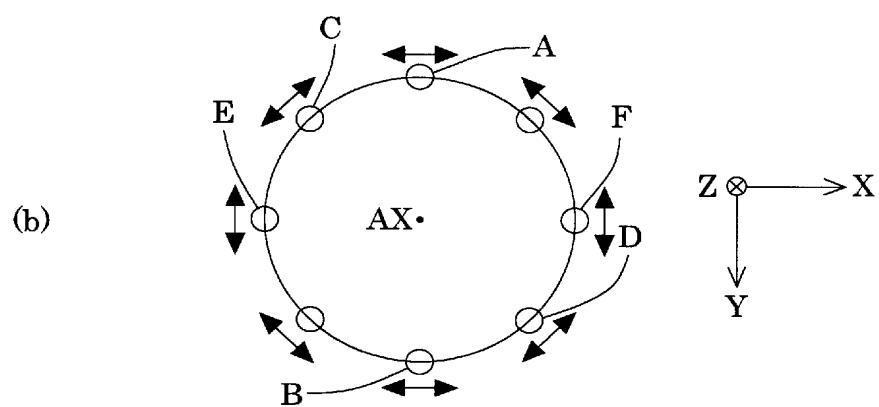
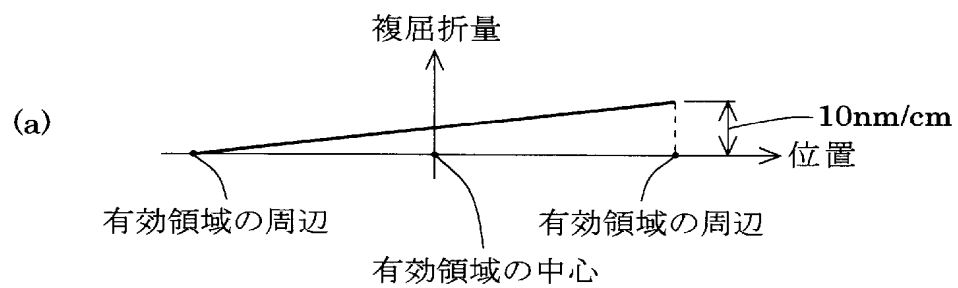
[[図5]]



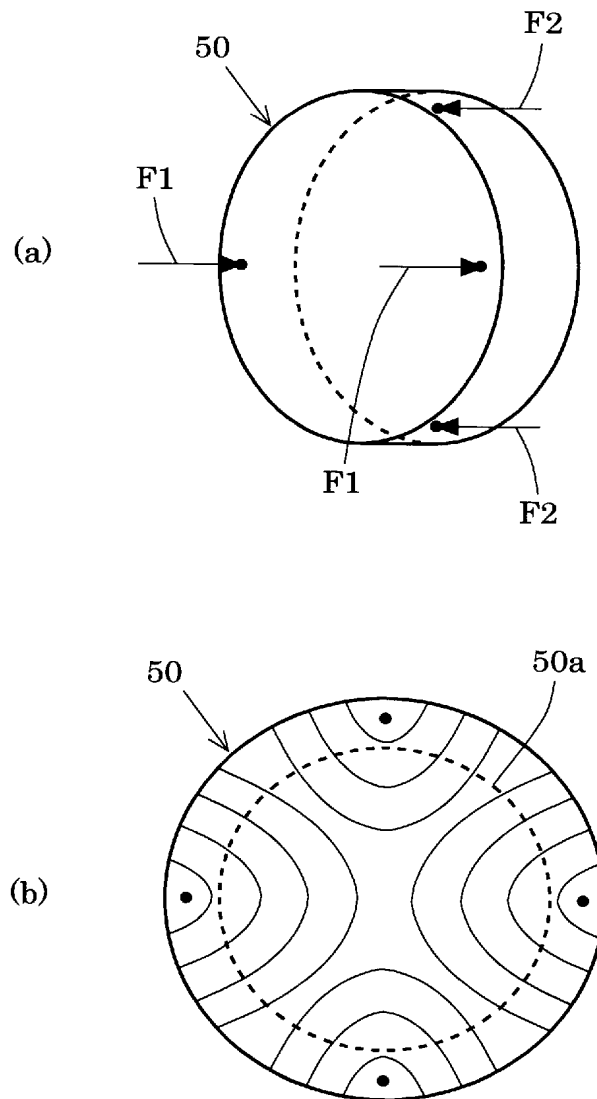
[図6]



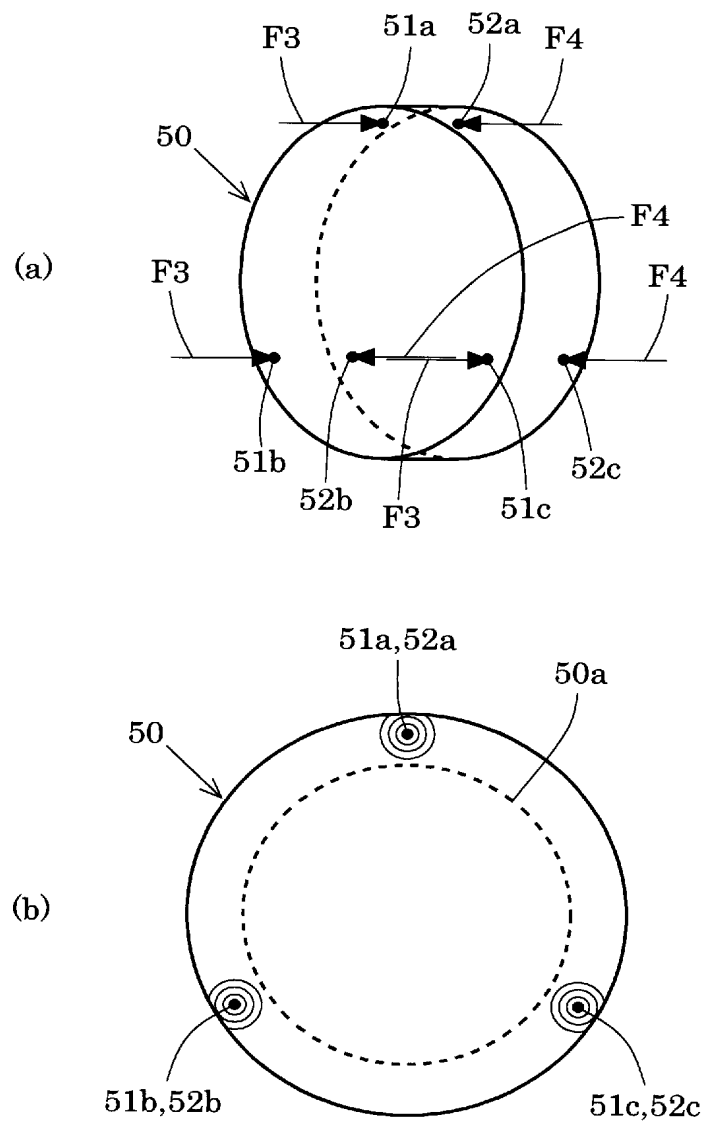
[図7]



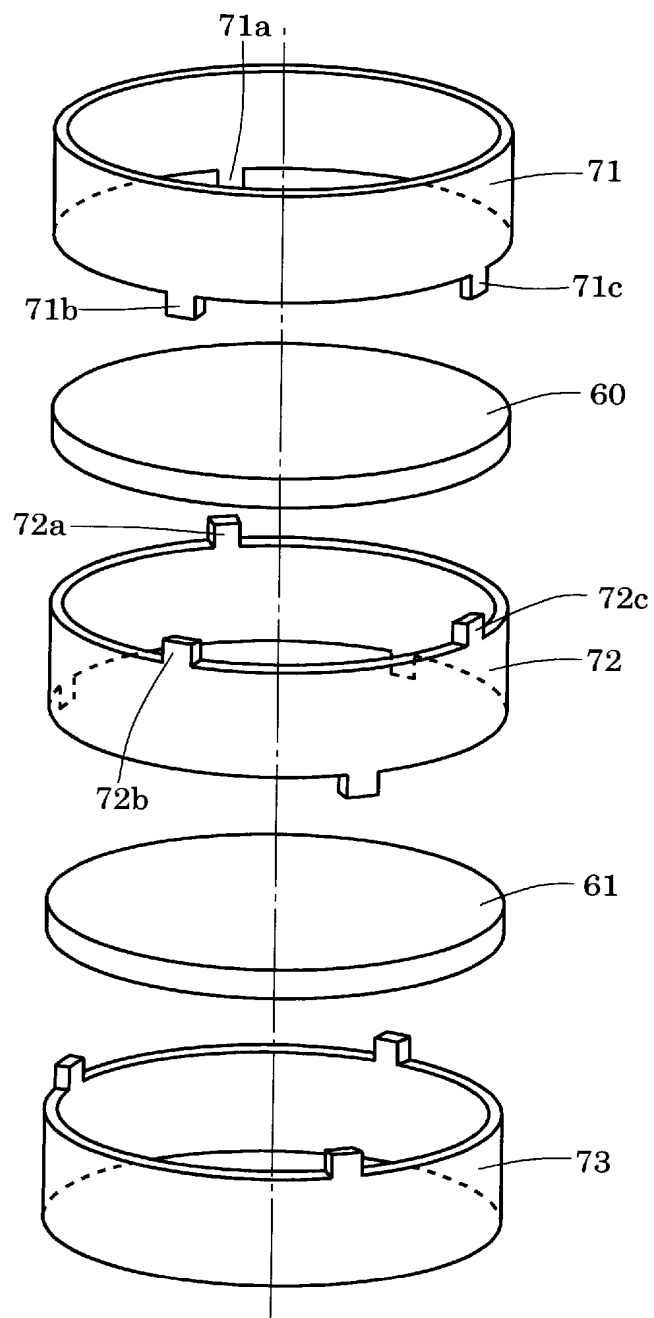
[[図8]]



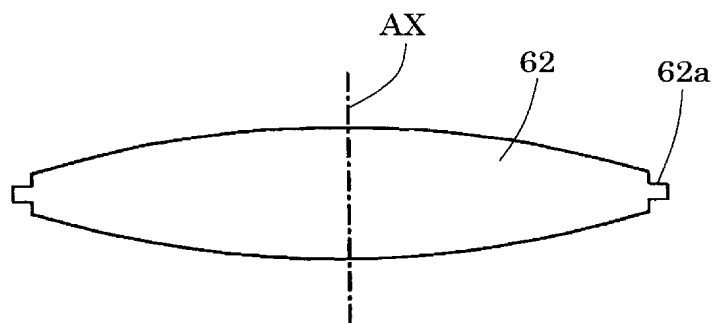
[[図9]]



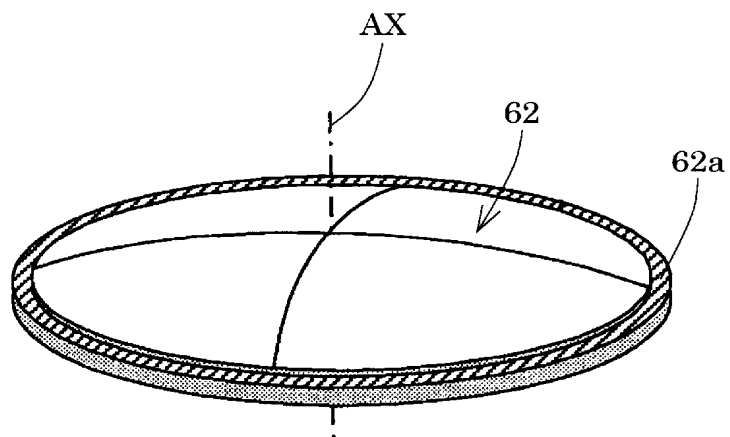
[図10]



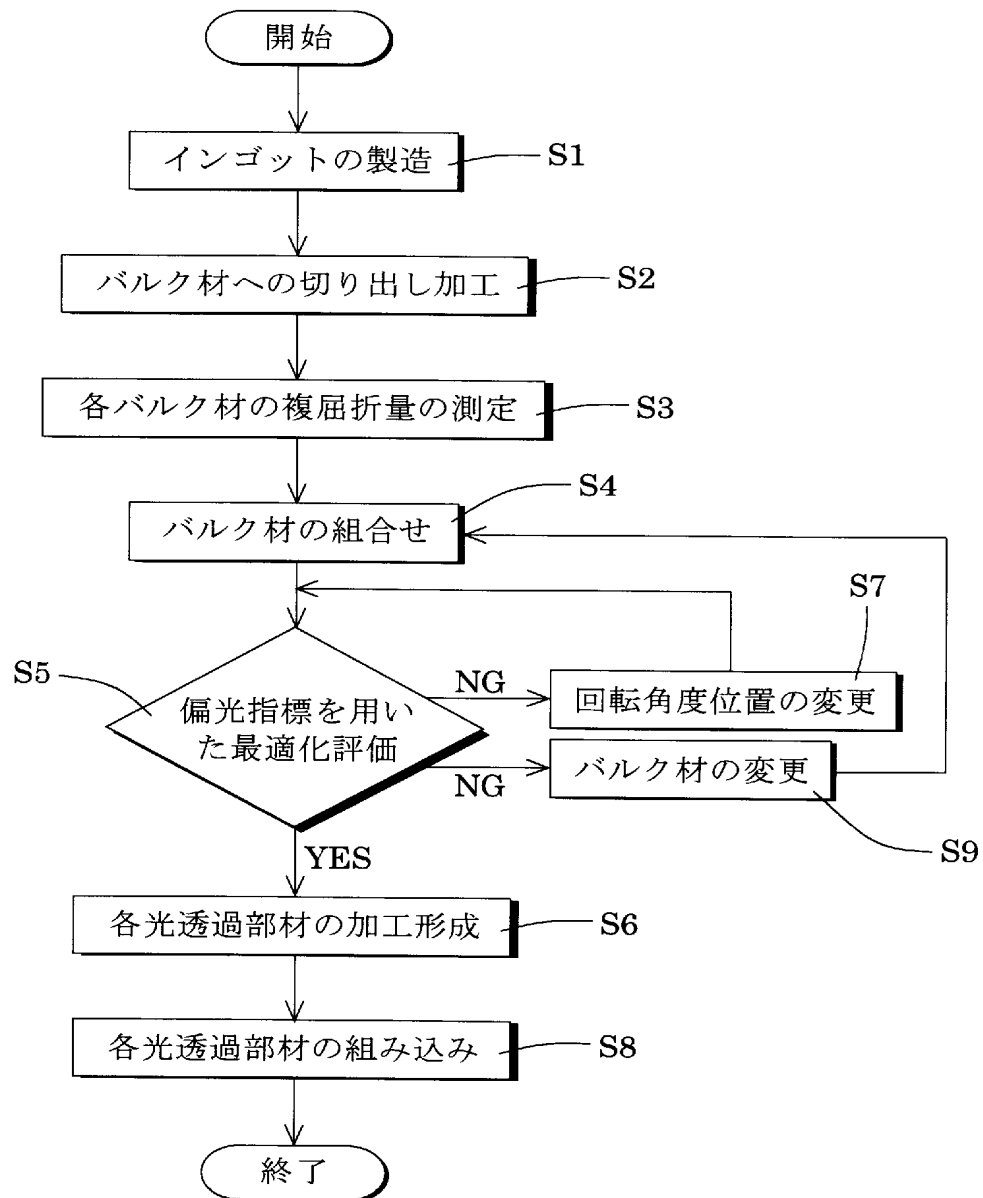
[図11]



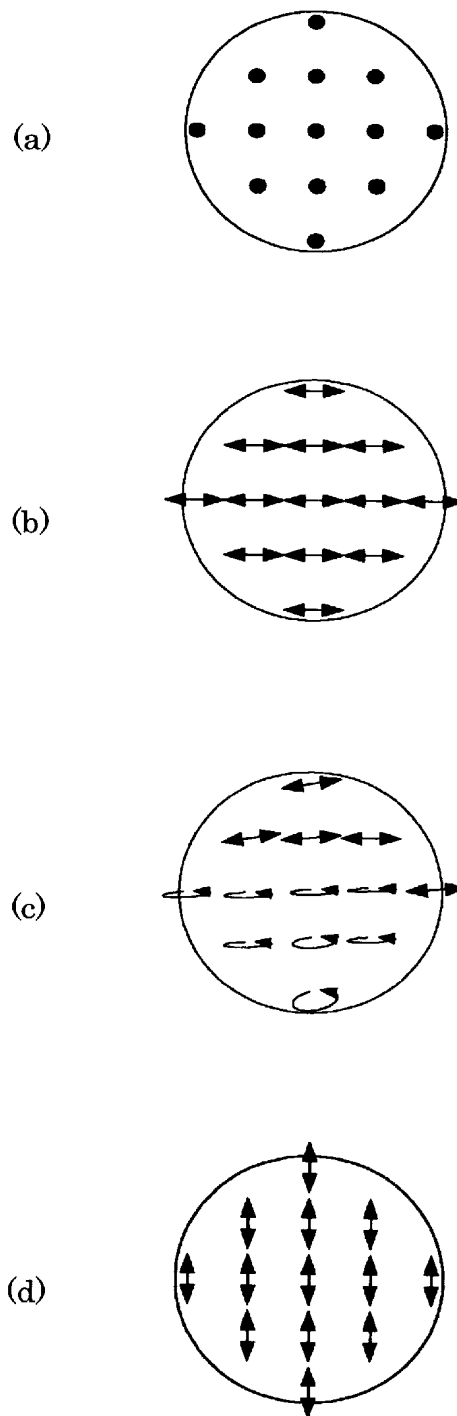
[図12]



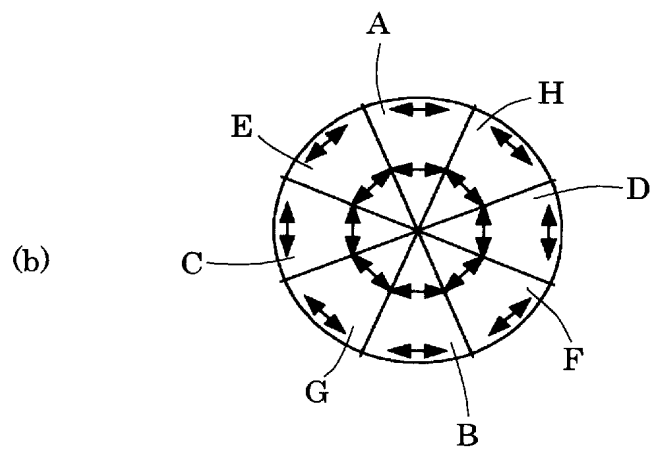
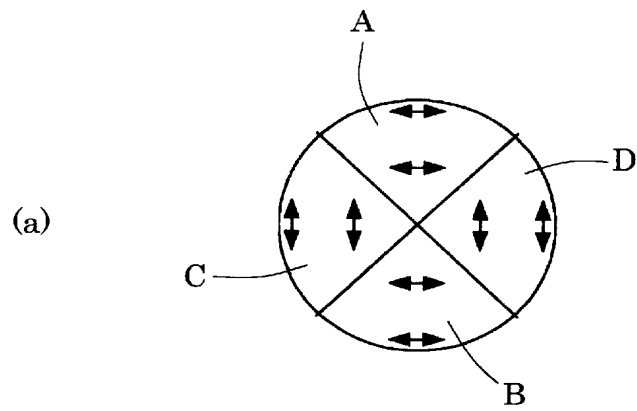
[図13]



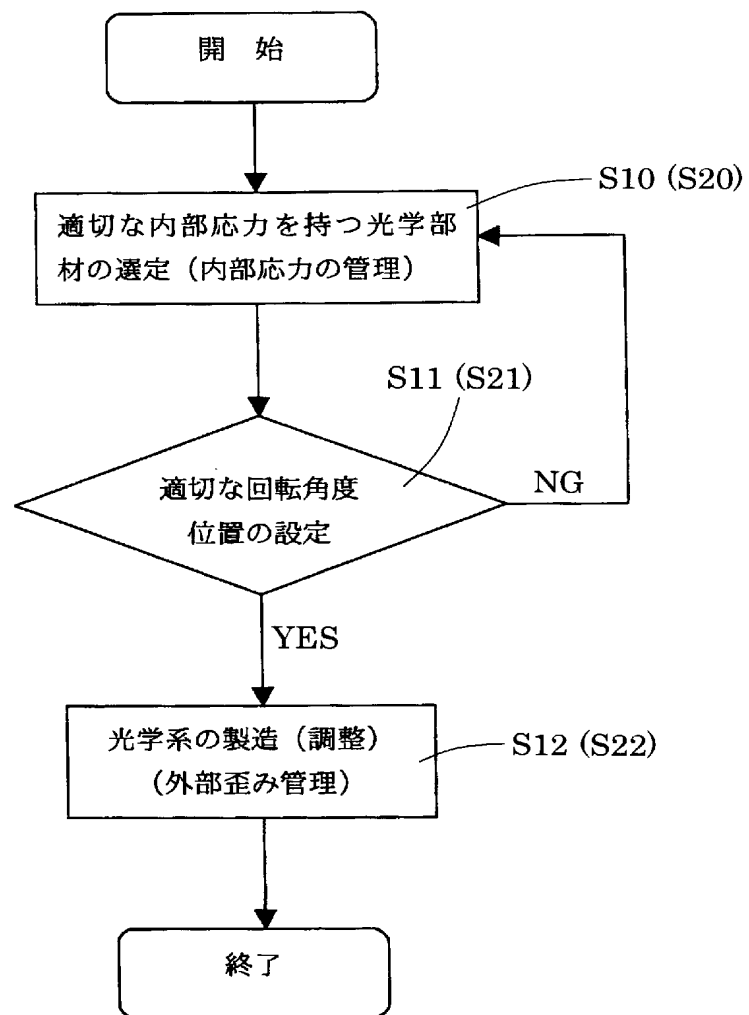
[図14]



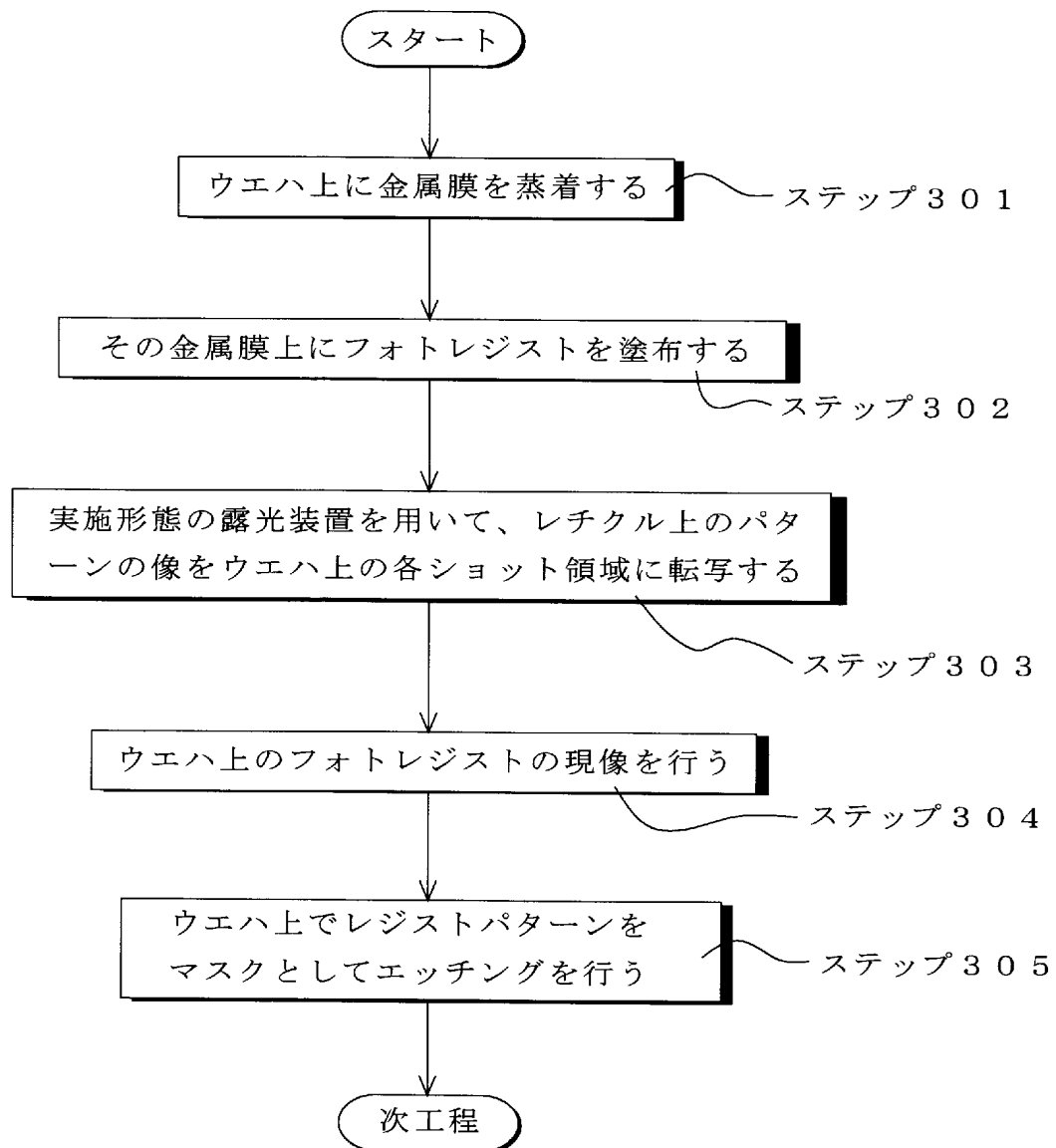
[[図15]]



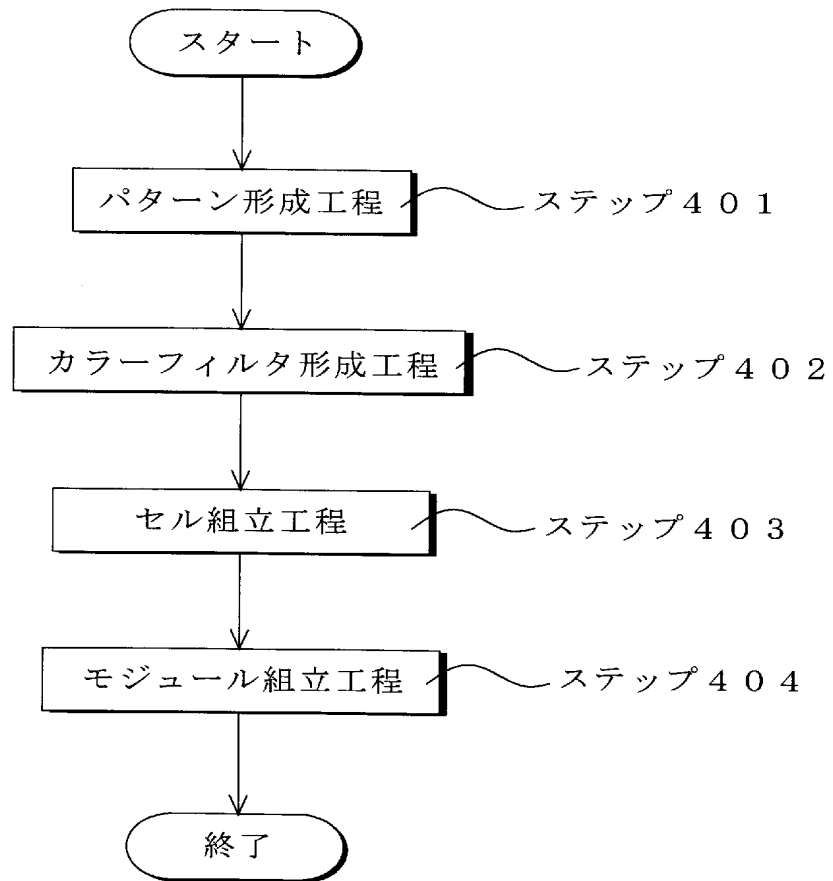
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021693

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L21/027(2006.01), G02B19/00(2006.01), G03F7/20(2006.01)

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L21/027, G02B19/00, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2006
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2006	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2006

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2004-179172 A (Nikon Corp.), 24 June, 2004 (24.06.04), Claims 1, 5, 11; Par. Nos. [0029], [0085] to [0089]; Figs. 1, 7 (Family: none)	1, 2, 18-20 3, 6
Y	WO 02/16993 A1 (Nikon Corp.), 28 February, 2002 (28.02.02), Page 1 & JP 2002-162549 A & JP 2002-131605 A & US 2002/0163741 A1 & EP 1312965 A1	3, 18-20
Y	WO 01/65296 A1 (Nikon Corp.), 07 September, 2001 (07.09.01), Claim 63; description; page 53, line 15 to page 55, line 6; Fig. 1 & US 2003/0011755 A1 & EP 1191378 A1	6, 18-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 February, 2006 (10.02.06)Date of mailing of the international search report
21 February, 2006 (21.02.06)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021693

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-274083 A (CARL ZEISS), 05 October, 2001 (05.10.01), Page 1 & DE 10010131 A1 & US 2001/0019404 A1 & EP 1130470 A2	1-3, 6, 18-20
A	JP 9-184918 A (CARL ZEISS), 15 July, 1997 (15.07.97), Page 1; Fig. 5 & DE 19535392 A1 & US 6191880 B1 & EP 764858 A2	1-3, 6, 18-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021693

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The invention of independent claim 1 has "a special technical feature" relating to a double refraction amount of a light transmitting member. The invention of independent claim 4 has "a special technical feature" relating to a rotation angle position of the light transmitting member. The invention of independent claim 7 has "a special technical feature" relating to a reflection film of a bending mirror. The inventions of independent claims 8, 21 have "a special technical feature" relating to management of the double refraction amount. The inventions of independent claims 9, 28 have "a special technical feature" relating to maintaining of polarization characteristic. (continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-3, 6, 18-20

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee..
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/021693

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The inventions of the other independent claims assume as "a special technical feature" that there is provided a light transmitting member arranged in the optical path between the polarization setting unit and the surface to be irradiated. However, the invention of claim 14 does not have the aforementioned assumption.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/027(2006.01), G02B19/00(2006.01), G03F7/20(2006.01)

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01L21/027, G02B19/00, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2006年
日本国実用新案登録公報	1996-2006年
日本国登録実用新案公報	1994-2006年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2004-179172 A (株式会社ニコン) 2004.06.24	1, 2, 18-20
Y	請求項 1, 5, 11, [0029], [0085]-[0089], 図 1, 7 (ファミリーなし)	3, 6
Y	WO 02/16993 A1 (株式会社ニコン) 2002.02.28 第1頁 & JP 2002-162549 A & JP 2002-131605 A & US 2002/0163741 A1 & EP 1312965 A1	3, 18-20

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

10.02.2006

国際調査報告の発送日

21.02.2006

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

2M

9355

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	WO 01/65296 A1 (株式会社ニコン) 2001.09.07 請求項 63、明細書 53 頁 15 行-明細書 55 頁 6 行、図 1 & US 2003/0011755 A1 & EP 1191378 A1	6, 18-20
A	JP 2001-274083 A (CARL ZEISS) 2001.10.05 第 1 頁 & DE 10010131 A1 & US 2001/0019404 A1 & EP 1130470 A2	1-3, 6, 18-20
A	JP 9-184918 A (CARL ZEISS) 1997.07.15 第 1 頁、図 5 & DE 19535392 A1 & US 6191880 B1 & EP 764858 A2	1-3, 6, 18-20

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

独立請求の範囲1に係る発明の「特別な技術的特徴」は、光透過部材の複屈折量に関し、独立請求の範囲4に係る発明の「特別な技術的特徴」は、光透過部材の回転角度位置に関し、独立請求の範囲7に係る発明の「特別な技術的特徴」は、折り曲げミラーの反射膜に関する。また、独立請求の範囲8及び21に係る発明の「特別な技術的特徴」は、複屈折量を管理することに関し、独立請求の範囲9及び28に係る発明の「特別な技術的特徴」は、偏光特性を維持することに関する。

そして、他の独立請求の範囲に係る発明は、偏光設定部と被照射面との間の光路中に配置された光透過部材を有することを「特別な技術的特徴」の前提とするのに対し、独立請求の範囲14に係る発明は、前記前提を有しない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

1-3, 6, 18-20

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付を伴う異議申立てがなかった。